This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

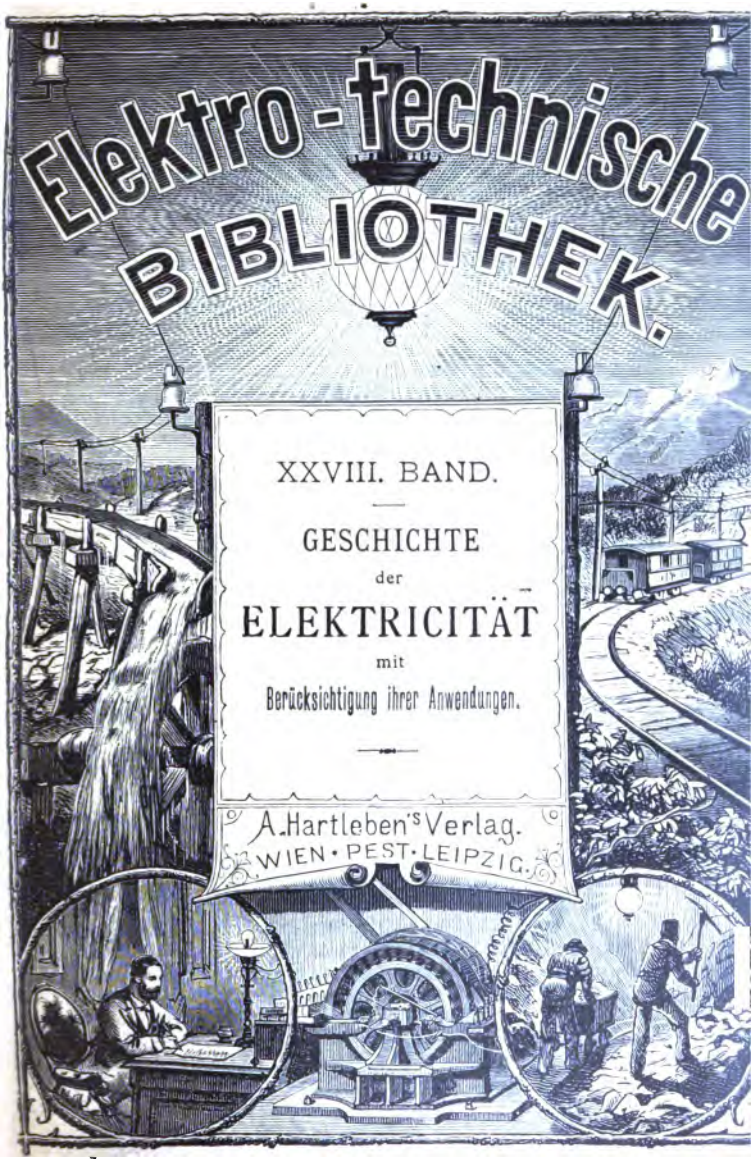
+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

3 3433 06273189 2


Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
XXVIII. BAND.
GESCHICHTE
der
ELEKTRICITÄT
mit
Berücksichtigung ihrer Anwendungen.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; eleg. gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.
Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.

Inhalt der Sammlung: 1992.

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. 4. Auflage. — II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. 2. Auflage. — III. Band. Das elektrische Licht. Von Dr. A. v. Urbanitzky. 2. Auflage. — IV. Band. Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen. Eine Beschreibung der hydro- und thermoelektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 2. Auflage. — V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Sack. — VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. 2. Auflage. — VII. Band. Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Ed. Japing. 2. Auflage. — VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Präcisions-Instrumente. Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. — IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 2. Aufl. — X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. W. Zech. — XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. v. Urbanitzky. 2. Auflage. — XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie. Von Dr. A. Tobler. — XIV. Band. Die Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter. — XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter. — XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias. — XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. Die Elektrotechnik in der praktischen Heilkunde. Von Prof. Dr. Rudolf Lewandowski. — XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. Die Weltliteratur der Elektricität und des Magnetismus, 1860 bis 1883. Von Gustav May. — XXI. Band. Die Motoren der elektrischen Maschinen mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze. — XXII. Band. Die Generatoren hochgespannter Elektricität. Von Prof. Dr. J. G. Wallentin. — XXIII. Band. Das Potential und seine Anwendung zur Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — XXIV. Band. Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen. Von J. Zacharias. — XXV. Band. Die Mehrfach-Telegraphie auf Einem Drahte. Von A. E. Granfeld. — XXVI. Band. Die Kabel-Telegraphie. Von M. Jüllig. — XXVII. Band. Das Glühlicht, sein Wesen und seine Erfordernisse. Von Etienne de Fodor. — XXVIII. Band. Geschichte der Elektricität. Von Dr. Gustav Albrecht. u. s. w. u. s. w.

Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 Kr. ö. W. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.

Einz — nur in der Bandausgabe abgegeben.
Einban — Kr. ö. W. = 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

GESCHICHTE

der

ELEKTRICITÄT

mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen.

Von

Dr. Gustav Albrecht.

Mit 67 Abbildungen.

WIEN. PEST. LEIPZIG.

A. HARTLEBEN'S VERLAG.

1885.

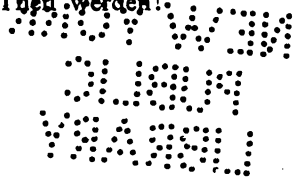
Alle Rechte vorbehalten.

K. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme in Wien.

Vorwort.

Die vorliegende Arbeit hat den Zweck, einen Ueberblick über den geschichtlichen Entwicklungsgang der Elektricitätslehre zu geben. Bei der Fülle des Stoffes und dem verhältnissmässig knappen Umfange des Werkes erschien es geboten, sich auf die Haupterscheinungen zu beschränken, umsomehr, da durch die hohe Bedeutung, welche gerade dieser Zweig der Naturwissenschaften sowohl in theoretischer wie in praktischer Beziehung in den letzten Jahrzehnten gewonnen hat, ein möglichst gleichmässiges Eingehen auf beide Richtungen nahegelegt wird. Es wurde aus diesem Grunde auch die Darstellung zusammengehöriger Forschungen in der Regel ununterbrochen fortgeführt, theils um Wiederholungen zu vermeiden, theils um den inneren Zusammenhang der verschiedenen Fortschritte klarer hervortreten zu lassen. Wie man leicht sieht, wird die zeitliche Aufeinanderfolge der Thatsachen im Allgemeinen dadurch nicht wesentlich beeinträchtigt. Die Literaturnachweise, und zwar namentlich

auch die von älteren Arbeiten, beruhen zum grössten Theile auf dem Studium der Originale und nur in einzelnen Fällen, wo letztere schwer oder gar nicht zu beschaffen waren, wurden sie, der Vollständigkeit halber, zuverlässigen Gewährsmännern entnommen. Die Illustrationen sind fast durchwegs getreue Abbildungen aus Originalwerken oder nach Photographien. Die Literaturangaben wie die Illustrationen, das Sach- und Namenregister und endlich eine chronologische Tafel dürften wohl beitragen, die praktische Brauchbarkeit des Buches zu erhöhen und den angestrebten Zweck zu fördern. Möge dem Versuche bei der Schwierigkeit des Unternehmens die freundliche Nachsicht des Lesers zu Theil werden!



Der Verfasser.

Inhalt.

Seite

Vorwort V
Illustrations-Verzeichniss XV

I. Abschnitt.

Geschichte der Elektricität bis zur Entdeckung des Galvanismus 1790.

Erstes Capitel.

Die Kenntniss der elektrischen Erscheinungen bis zur Begründung der Elektricitätslehre durch Gilbert 1600.

1. Einleitung 1
2. Kenntnisse der alten Völker. Gewitterelektricität 2
3. Kenntnisse der alten Völker. Galvanoplastik. Elmsfeuer. Elektrische Fische 3
4. Kenntnisse der alten Völker. Reibungselektricität 4
5. Kenntnisse der alten Völker. Lynkurion. Carbunculus. Gagat 6
6. Mittelalter 7

Zweites Capitel.

Von Gilbert bis zur Entdeckung der beiden elektrischen Zustände durch Du Fay.

7. Gilbert. Begründung der Elektricitätslehre 8
8. Guericke. Elektrisirmaschine 9
9. Boyle. Newton. Wall 12
10. Leuchten luftleerer Röhren. Hawksbee 13
11. Bernoulli und Cassini 15
12. Gray. Leitungsfähigkeit. Isolatoren 15
13. Du Fay. Glas- und Harzelektricität 16
14. Du Fay's Zeitgenossen. Desaguliers 17

Seite

Drittes Capitel.

Geschichte der Reibungselektrisirmaschine.

15. Hausen. Litzendorf 18
16. Bose. Ludolff. Gordon. Elektrische Zündung 19
17. Winkler. Giessing. Reibzeug. Wirkungen der Elektricität . 20
18. Watson. Ableitung. Wilson. Saugkamm. Reibzeug. Waitz. Canton. Kienmayer 21
19. Scheibenmaschinen. Planta. Chaulnes. Marum 25
20. Scheibenmaschinen. Winter. Ramsden 28

Viertes Capitel.

Von der Entdeckung der Kleist'schen Flasche bis zum Auftreten Franklin's 1745—1747.

21. Kleist. Verstärkungsflasche 30
22. Musschenbroek. Cunaeus 31
23. Gralath. Elektrische Batterie. Geschichte 31
24. Nollet. Leydener Flasche. Theorie 32
25. Winkler. Leitung durch Wasser. Ladungsrückstand . . . 33
26. Wilson. Stärke der Ladung 34
27. Le Monnier. Gesetze der Ladung und Entladung. Geschwindigkeit der Elektricität 34
28. Watson. Leitungsfähigkeit der Erde. Belegung der Flasche. Bevis. Smeaton. Belegte Tafeln 35

Fünftes Capitel.

Theorien der elektrischen Erscheinungen.

29. Theorie Watson's. Kreislauf der Elektricität 37
30. Franklin. Theorie der Kleist'schen Flasche 39
31. Franklin's Theorie der Elektricität 39
32. Untersuchungen Franklin's. Cascadenbatterie. Oberflächenvertheilung. Spitzenwirkung 41
33. Theorie von Aepinus. Wilke. Lufttafel 42
34. Symmer's Theorie 44
35. Aufnahme von Symmer's Theorie. Cigna. Priestley. Wilke 45

Sechstes Capitel.

Untersuchungen über die Influenz-Elektricität.

36. Influenzerscheinungen. Winkler. Canton. Wilke. Aepinus. Beccaria. 47
37. Ladungen belegter Tafeln. Wilke. Beccaria. Volta. Elektrophor 48

Seite
38. Elektrophor. Wilke. Riess. Bezold. Lichtenberg 51
39. Volta. Condensator 52

Siebentes Capitel.

Entwicklung der Influenzmaschinen.

40. Lichtenberg. Doppel-Elektrophor. Bennet. Duplicator . . 53
41. Cavallo. Duplicator. Multiplicator 54
42. Nicholson. Revolving doubler. Kreiselnder Collector . . . 55
43. Duplicator. Bohnenberger. Belli. Elektricitäts-Generator . . 57
44. Töpler. Influenzmaschine 60
45. Holtz. Influenzmaschine erster Art 62
46. Influenzmaschinen. Poggendorff. Riess. Kundt. Kaiser. Schwedoff 65
47. Holtz. Influenzmaschine zweiter Art 67
48. Vereinigte Holtz-Töpler'sche Influenzmaschine 68

Achtes Capitel.

Entwicklung der Elektroskope.

49. Nollet. Waitz. Gralath. Elicott. Le Roy und d'Arcy . . . 70
50. Canton. Massflasche. Kugelelektroskop 72
51. Lane. Massflasche. Henley. Saxtorph. Quadrantenelektroskop 72
52. Cavallo. Volta. Bennet 73

Neuntes Capitel.

Mathematische Theorie der elektrostatischen Erscheinungen.

53. Grundgesetz der Elektrostatik. Cavendish. Robison. Mayer. Priestley 74
54. Coulomb. Drehwage 76
55. Coulomb. Theorie der Elektrostatik 77
56. Theorie der Elektrostatik. Biot. Poisson 79
57. Potentialtheorie. Green. Gauss 80

Zehntes Capitel.

Entwicklung der elektrostatischen Messapparate.

58. Elektrometer. Peltier. Oersted 82
59. Elektrometer. Dellmann. Romershausen. Kohlrausch . . . 83
60. Thomson's Elektrometer 85

Seite

Elftes Capitel.

Untersuchungen über die atmosphärische Elektricität.

61. Gewitterelektricität. Winkler. Nollet. Franklin 87
62. Gewitterstangen. Dalibard. Delor. Elektrischer Drache. Franklin 89
63. Mazéas. Le Monnier. Romas. Richmann 89
64. Luftelektricität. Franklin. Canton. Beccaria. Mazéas . . . 91
65. Blitzableiter. Franklin. Divisch. Wilson. Beccaria. Nairne. Mahon. Gay-Lussac. Pouillet 92
66. Luftelektricität. Cavallo. Lichtenberg. Saussure. Maréchaux. Schübler 94

Zwölftes Capitel.

Entdeckung verschiedener neuer Quellen der Elektricität.

67. Elektrische Fische. Bancroft. Walsh. Hunter 96
68. Elektrische Fische. Volta. Neuere Untersuchungen . . . 98
69. Einfluss der Oberfläche auf die Art der Reibungselektricität 98
70. Elektricitätserregung durch Druck oder Trennung . . . 100
71. Elektricität pulverförmiger Körper 102
72. Elektricitätserregung bei Verdampfung. Dampfelektrisirmaschine. Armstrong 103
73. Elektricität des Turmalin 104
74. Elektricität der Krystalle 106

Dreizehntes Capitel.

Wirkungen und Anwendungen der Spannungselektricität.

75. Wirkungen der Spannungselektricität im Allgemeinen . . 107
76. Anwendung der Elektricität in der Heilkunde 108
77. Mechanische und thermische Wirkungen 110
78. Sprengung und Zündung durch Elektricität 112
79. Elektrische Lichterscheinungen. Geschwindigkeit der Elektricität 113
80. Elektrische Telegraphie 116
81. Chemische und physiologische Wirkungen der Elektricität 118

II. Abschnitt.

Geschichte der galvanischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

Entdeckung der galvanischen Erscheinungen.

82. Galvani. Elektrischer Rückschlag. Mahon. Thierische Elektricität 122

Seite

83. Volta. Reil. Contactelektricität. Physiologische Wirkungen. Sulzer. Galvanische Elemente. Robison 125
84. Volta. Contacttheorie. Aldini. Humboldt. Biot 127
85. Spannungsreihe. Pfaff. Ritter. Fechner 129
86. Elektromotorische Kräfte galvanischer Ketten 130
87. Identität der galvanischen und elektrischen Erscheinungen 132

Zweites Capitel.

Chemische Wirkungen der galvanischen Ströme.

88. Elektrolyse. Fabbroni. Ash. Humboldt 134
89. Elektrolyse. Carlisle. Nicholson. Cruikshank. Davy . . . 135
90. Theorie der Elektrolyse. Cruikshank. Berzelius. Davy . . 138
91. Elektrochemische Theorie. Berzelius 140
92. Theorie der Elektrolyse. Grotthuss 141
93. Elektrolyse. Faraday. Nomenclatur. Secundäre Vorgänge . 142
94. Voltameter. Robertson. Faraday. Poggendorff 144
95. Elektrolytisches Grundgesetz. Faraday. Hittorff 146
96. Theorie der Elektrolyse. Faraday 147
97. Theorie der Elektrolyse. Clausius 148
98. Ozon. Faraday. Schönbein 149
99. Ladungssäulen. Schönbein. Polarisation. Passivität . . . 151
100. Secundäre Elemente. Planté. Faure 153

Drittes Capitel.

Galvanische Elemente und Batterien.

101. Säulen- und Tassenapparate. Volta. Ritter. Haldane . . . 156
102. Trockene Säulen. Behrens. Säulenelektroskop. Maréchaux 158
103. Trockene Säulen. Luc. Zamboni. Jäger. Bohnenberger . 159
104. Theorie der trockenen Säulen. Perpetuum mobile. Säulenelektroskop 161
105. Zellen-, Schüsseln- und Trogapparate. Cruikshank. Ritter. Wilkinson. Children 163
106. Trog- und Kastenapparate. Wollaston. Oersted 164
107. Hare. Calorimotor. Spätere Apparate 165
108. Elemente mit Zinkamalgam. Becquerel. Pile à oxygène . 166
109. Constante Elemente. Becquerel. Daniell. Grove. Cooper. Bunsen 168
110. Chromsäure-Elemente. Bunsen. Poggendorff 170
111. Braunstein-Elemente. Rive. Leclanché 171

Seite

112. Chlorelemente. Daniell. M. Davy Rue. Pincus. Gaiffe. Pulvermacher'sche Kette 173

Viertes Capitel.

Theorien des galvanischen Stromes.

113. Contacttheorie. Volta. Fechner 174
114. Chemische Theorie. Fabbroni. Ritter. Parrot. Davy. Vertheilungstheorie. Jäger 175
115. Chemische Theorie. Rive 178
116. Chemische Theorie. Faraday. Becquerel. Matteucci . . 179
117. Contacttheorie. Pfaff. Fechner. Poggendorff. Exner . . . 180
118. Modificationen der Contacttheorie 182
119. Theorie von Schönbein 183

Fünftes Capitel.

Magnetische und elektrodynamische Wirkungen des galvanischen Stromes.

120. Ablenkung der Magnetnadel durch den Strom. Oersted . 185
121. Gesetze der elektromagnetischen Wirkung. Seebeck. Ampère. Biot und Savart. Laplace. Boisgiraud 188
122. Magnetisirung durch den Strom. Arago. Ampère. Seebeck. Elektromagnete 189
123. Elektrodynamische Wirkungen des Stromes. Ampère. Theorie des Magnetismus 192
124. Elektromagnetische und elektrodynamische Rotationen. Faraday. Ampère 194
125. Theorie der Elektrodynamik. Ampère. Grassmann. Neumann. Stefan 195
126. Elektromagnetische und elektrodynamische Wirkungen der Spannungselektricität 197

Sechstes Capitel.

Beziehungen zwischen Elektricität und Wärme.

127. Thermoelektricität. Seebeck. Spannungsreihe 198
128. Thermosäulen. Anwendungen 200
129. Theorie der Thermoelektricität 201
130. Wärmewirkungen des galvanischen Stromes 202
131. Peltier's Phänomen 204
132. Lichtwirkungen des galvanischen Stromes 205

Seite

Siebentes Capitel.

Massbestimmungen über die galvanischen Ströme.

133. Multiplicator. Schweigger. Poggendorff. Astatische Nadel. Ampère. Nobili 207
134. Ohm. Leitungswiderstand 209
135. Ohm. Gesetz der Stromintensität 210
136. Theorie des galvanischen Stromes. Kirchhoff 211
137. Multiplicator. Graduirung. Differentialgalvanometer. Becquerel 212
138. Tangentenboussole. Nervander. Pouillet. Sinusboussole. Helmholtz. Gaugain 213
139. Galvanometer. Elektrodynamometer. Weber 215
140. Elektrische Masssysteme. Weber. Jacobi. Siemens . . . 217

Achtes Capitel.

Erscheinungen der Inductionselektricität.

141. Inductionserscheinungen. Ampère 219
142. Rotationsmagnetismus. Arago. Herschel und Babbage . 221
143. Entdeckung der Inductionselektricität. Faraday 222
144. Rotationsmagnetismus. Faraday 223
145. Gesetze der Inductionselektricität 224
146. Extraströme. Inductionsströme höherer Ordnung . . . 225
147. Theorie der Inductionserscheinungen. Neumann . . . 226
148. Allgemeine Theorie der Elektricität. Fechner. Weber. Elektrisches Grundgesetz. Helmholtz. Clausius. Maxwell 227

Neuntes Capitel.

Entwicklung der auf die Inductionserscheinungen gegründeten Maschinen.

149. Magnetoelektrische Maschinen. Negro. Pixii. Ritchie . . 230
150. Magnetoelektrische Maschinen. Saxton. Page. Sinsteden. 232
151. Magnetoelektrische Maschinen. Stöhrer. Alliance-Maschine. Siemens. Cylinderinductor 234
152. Magnetoelektrische Maschinen. Siemens. Pacinotti . . 237
153. Magnetoelektrische Maschinen. Sinsteden. Wilde. Dynamoelektrisches Princip. Siemens 239
154. Dynamoelektrische Maschinen. Gramme. Hefner-Alteneck 242
155. Neuere Maschinen. Unipolarmaschinen. Siemens. Ferraris. 245

Seite

156. Elektromotore. Negro. Ritchie. Jacobi. Froment. Page. Elektrische Eisenbahn 248
157. Inductionsapparate. Wagner. Ruhmkorff 254

Zehntes Capitel.

Geschichtliche Entwicklung der Telegraphie und Telephonie.

158. Sömmering. Chemischer Telegraph. Weckapparat . . 256
159. Ampère. Elektromagnetischer Telegraph. Schilling. Gauss und Weber 259
160. Steinheil. Schreibtelegraph. Erdleitung 263
161. Cooke und Wheatstone. Nadeltelegraph 267
162. Morse. Ursprünglicher Schreibtelegraph 270
163. Wheatstone. Weckapparat. Relais 273
164. Cooke. Davy. Wheatstone. Zeigertelegraph 275
165. Morse. Verbesserter Schreibtelegraph 277
166. Neuere Telegraphenapparate 279
167. Telegraphenverkehr. Multiplextelegraphie 281
168 Signalwesen. Zeittelegraphie. Elektrische Uhren. Chronoskope 283
169. Telephon. Reis 284
170. Telephon. Yates. Gray. Bell 290
171. Bell. Verbessertes Telephon. Hughes. Mikrophon. Photophon 292

Elftes Capitel.

Chemische, physiologische, thermische und optische Wirkungen des galvanischen Stromes in ihren praktischen Anwendungen.

172. Elektrochemie. Galvanostegie. Galvanochromie . . . 296
173. Galvanoplastik 297
174. Muskel- und Nervenelektricität 298
175. Elektrotherapie 300
176. Galvanische Zündung und Sprengung 301
177. Elektrisches Glühlicht 302
178. Elektrisches Bogenlicht 304

Illustrations-Verzeichniss.

		Seite
Fig.	1. Otto von Guericke	10
„	2. Maschine von Guericke	11
„	3. Maschine von Hawksbee	14
„	4. Maschine von Nollet	20
„	5. Maschine von Wilson	22
„	6. Maschine von Lichtenberg	23
„	7. Maschine von Nairne	24
„	8. Maschine von Priestley	25
„	9. Maschine von Ramsden	28
„	10. Maschine von Winter	29
„	11. Benjamin Franklin	39
„	12. Alexander Volta	50
„	13. Maschine von Nicholson	56
„	14. Maschine von Belli	58
„	15. Maschine von Töpler	61
„	16. Maschine erster Art von Holtz	63
„	17. Maschine zweiter Art von Holtz	68
„	18. Versuch von Galvani	123
„	19. Aloisio Galvani	124
„	20. Humphry Davy	136
„	21. Michael Faraday	143
„	22. Gaston Planté	155
„	23. Hans Christian Oersted	187
„	24. André Marie Ampère	191
„	25. Maschine von Pixii	231
„	26. Maschine von Stöhrer	233
„	27. Alliance-Maschine	234
„	28. Werner Siemens	235
„	29. Maschine von Siemens	236
„	30. Maschine von Pacinotti	238
„	31. Maschine von Wilde	240
„	32. Dynamoelektrische Maschine von Siemens	241

Seite

Fig. 33. Maschine von Ladd 242
„ 34. Zénobe Théophile Gramme 243
„ 35. Gramme'sche Maschine für Handbetrieb 244
„ 36. Maschine von Siemens (System Hefner-Alteneck) . . 245
„ 37. Unipolarmaschine von Siemens 246
„ 38. Unipolarmaschine von Ferraris 247
„ 39. Dal Negro's erster Elektromotor 249
„ 40. Dal Negro's zweiter Elektromotor 250
„ 41. Elektromotor von Jacobi 251
„ 42. Elektromotor von Froment 252
„ 43. Elektromotor von Page 253
„ 44. Schlittenapparat von Du Boys-Reymond 255
„ 45. Samuel Thomas Sömmering 257
„ 46. Sömmering's Telegraph 258
„ 47. J. C. F. Gauss und W. E. Weber 260
„ 48. Gauss-Weber'scher Telegraph 262
„ 49. C. A. Steinheil 263
„ 50. Steinheil's Telegraph 264
„ 51. Cooke's Nadeltelegraph 268
„ 52. Einnadeltelegraph von Cooke und Wheatstone . . . 269
„ 53. Samuel F. B. Morse 270
„ 54. Morse's Telegraph 271
„ 55. Wheatstone's Relais 274
„ 56. Wheatstone's Zeigertelegraph 276
„ 57. Philipp Reis 285
„ 58. Reis'sches Telephon in der ursprünglichen Gestalt . . 286
„ 59. „ „ „ „ späteren Form 287
„ 60. Verbessertes Reis'sches Telephon 289
„ 61. Telephon von E. Gray 290
„ 62. Bell's Telephon in der ursprünglichen Gestalt 292
„ 63. Bell's Telephon in der späteren Form 293
„ 64. Bell's Telephon in der jetzigen Gestalt 294
„ 65. Thomas Alva Edison 303
„ 66. Archereau's Regulator 305
„ 67. Paul Jablochkoff 306

I. Abschnitt.

Geschichte der Elektricität bis zur Entdeckung des Galvanismus 1790.

Erstes Capitel.

Die Kenntniss der elektrischen Erscheinungen bis zur Begründung der Elektricitätslehre durch Gilbert 1600.

1. In der Auffassung der Naturerscheinungen durch den menschlichen Geist lassen sich zwei Entwicklungsstufen unterscheiden. Auf der ersten, ursprünglichen, wird das Ereigniss als solches durch die Sinne wahrgenommen, der Verstand bemächtigt sich seiner und sucht es gelegentlich mit mehr oder weniger Glück für seine Zwecke zu verwerthen; er bleibt aber bei der blossen Kenntniss der Thatsachen stehen. Es ist dies die vorwissenschaftliche, die gemeine Weltanschauung. Eine wissenschaftliche Betrachtung entwickelt sich erst, wenn die Vernunft prüfend und sichtend zwischen den einzelnen Vorgängen Beziehungen herstellt, wenn sie von der blossen Sammlung von Kenntnissen zu einer Erkenntniss der Erscheinungen aufzusteigen trachtet, wenn sie nach den Gesetzen fragt, welche die vereinzelten Ereignisse unter eine allgemeine Regel zu bringen gestatten. Fast jeder Zweig der Naturwissenschaften hat

diesen Entwicklungsverlauf genommen. Auch in der Elektricitätslehre ist die unwillkürliche, erfahrungsmässige Kenntniss der Thatsachen der willkürlichen Erforschung und wissenschaftlichen Erkenntniss derselben vorausgegangen. Der Natur der Sache nach war aber die Zahl der unbeabsichtigten, gelegentlichen Erfahrungen auf diesem Gebiete eine überaus geringe und erst mit dem Entstehen einer allgemeinen mechanischen Naturbetrachtung, mit der Ausbildung einer Wissenschaft dieser Erscheinungen hat auch die Kenntniss der Thatsachen eine rasch und mächtig anschwellende Zunahme erfahren.

2. Wenn die Blitze durch die Lüfte zucken, wenn unter dem fürchterlichen Krachen des Donners die Erde erbebt, dann ist es, wo zuerst die geheimnissvollen Naturerscheinungen, die wir unter dem Namen elektrische zusammenfassen, dem erschreckten Gemüthe des Menschen entgegentreten. Doch die naive Anschauung in der Kindheit der Völker erblickt in diesen Ereignissen nur das mächtige Walten übermenschlicher Wesen, welche die gläubige Menge als Herren der Schöpfung verehrt und durch Opfer und Gebete zu versöhnen bestrebt ist. Auf dieser Stufe der Bildung kann von wissenschaftlicher Forschung nicht die Rede sein. Es ist daher wohl möglich, wie die Untersuchungen mancher Gelehrten, eines Lichtenberg, Ben David, Michaelis und Schweigger,[1]) glaubhaft machen wollen, dass die alten Priesterschaften im Besitze von Kenntnissen waren, die sie zur Ansammlung und Aufspeicherung von Elektricität führten, Kenntnisse, welche von ihnen für Cultuszwecke verwendet wurden und deren Spuren in mythischen und

[1]) Schweigger, Journal für Chemie und Physik, Bd. 31, S. 223, 1821 und Bd. 37, S. 245, 1823.

poetischen Ueberlieferungen noch ersichtlich sein sollen; es mag also wohl sein, dass die Chinesen und Inder auf Grund zufälliger Beobachtungen in der That den Blitz abzuleiten versuchten, dass die Etrurier und Römer[1]) bei religiösen Ceremonien sich gewisser Vorrichtungen zu ähnlichen Zwecken bedienten und dass endlich die auffallende Uebereinstimmung der Stiftshütte Mosis, sowie des salomonischen Tempels mit einer ungeheuren Kleist'schen Flasche nicht einer tieferen Begründung entbehrte, worauf auch mehrere biblische Erzählungen[2]) hinzudeuten scheinen; allein fast alle diese Nachrichten stammen aus ziemlich zweifelhaften Quellen und die Grenze zwischen mythischer Dichtung und glaubwürdiger historischer Ueberlieferung ist eine so schwankende, dass die Wahrheit dieser Mittheilungen oder doch wenigstens die diesbezügliche Auslegung derselben mit Recht in Frage gezogen werden kann. Aber auch davon abgesehen, darf man allen Anzeichen nach als sicher annehmen, dass eine Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen, eine wirkliche Erkenntniss der Verhältnisse und Thatsachen bei keinem der alten Völker vorhanden war. Darauf weist der ganze übrige Zustand des Wissens, weisen die vielen groben und offenbaren Irrthümer hin, denen wir über diese Gegenstände bei den alten Schriftstellern begegnen.

3. Eine ähnliche Bewandtniss hat es wohl mit der Vermuthung,[3]) dass die alten Egypter geheimnissvolle

---

[1]) Plinius Secundus, Historia naturalis, Buch 2, Cap. 54. — [2]) Moses, Buch 2, Cap. 25; Buch 3, Cap. 9 und 10; Buch 4, Cap. 16. — [3]) Aus der Natur, die neuesten Entdeckungen auf dem Gebiete der Naturwissenschaften, 1852, S. 8; Buch der Erfindungen, Gewerbe und Industrien, 6. Aufl., 1872, Bd. 2, S. 326.

Kenntnisse in der Galvanoplastik besessen haben, weil sich in egyptischen Gräbern lebensgrosse Figuren aus sehr dünnem Kupferblech und Gefässe, Waffen u. dgl. aus Glas, Porzellan, Thon oder Holz zuweilen mit einem so schwachen Kupferüberzug vorgefunden haben, wie wir ihn nur mit Hilfe des galvanischen Stromes herzustellen im Stande sind. Dagegen ergiebt sich aus vielen Stellen der alten Schriftsteller unzweifelhaft,[1]) dass ausser den allgemeineren Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität besonders das sogenannte Elmsfeuer den Alten unter dem Namen Kastor und Pollux wohlbekannt war und wiederholt genau beobachtet worden ist. Auch die Eigenthümlichkeit des Zitterrochens, bei Berührung ein Gefühl der Erstarrung (torpor) hervorzubringen, findet sich bei Galienus und Anderen erwähnt. Man nannte den Fisch darnach torpedo[2]) und bediente sich in der römischen Kaiserzeit, ähnlich wie die Negerfrauen Westafrikas schon vor Jahrtausenden, seiner Schläge als Heilmittel gegen Gicht und Lähmung; selbst sein Fleisch wurde deshalb gegessen.

4. So mannigfach aber auch diese Erscheinungen und so auffallend die damit verknüpften Wirkungen waren, treten sie doch an Bedeutung vor einer unscheinbaren Thatsache zurück, welche von syrischen Frauen zu einer niedlichen Spielerei beim Spinnen verwendet wurde,[3]) die aber vor den bisher genannten Quellen der

---

[1]) Plinius Secundus, Hist. nat., Buch 2, Cap. 37; Titus Livius, Buch 22, Cap. 1 und Buch 34, Cap. 45; Caesar, De bello Africano, Cap. 47. — [2]) Plinius Secundus, Hist. nat., Buch 9, Cap. 67 und Buch 32, Cap. 2; Plato Menon, Cap. 13; Aristoteles, Historiae de animalibus, Buch 9, Cap. 37. — [3]) Plinius Secundus, Hist. nat., Buch 37, Cap. 11.

Elektricität den unschätzbaren Vorzug besitzt, dass dadurch Menschenhände zum erstenmal die geheimnissvollen elektrischen Wirkungen, wenn auch vorerst nur in kleinem Massstabe und mit geringer Intensität, auf mechanischem Wege zu Stande brachten. Es war dies die nach der Behauptung der griechischen Schriftsteller angeblich zuerst von Thales von Milet beobachtete Anziehungskraft des geriebenen Bernsteins.[1]) Thales, der den sieben Weisen zugezählt wird und von 640 bis 548 v. Chr. lebte, war der erste, der sich von den mythischen und poetischen Anschauungen zu selbständigem Denken erhob; gleichwohl suchte er den Grund der räthselhaften Erscheinung in echt griechischer Weise in einer Seele als dem bewegenden Princip, die er dem Bernstein ebenso wie dem Magnete zuschrieb.[2]) Nach dieser Eigenschaft des Bernsteins (ἤλεκτρον, electrum) hat die Elektricität dann mehr als zwei Jahrtausende später ihren Namen erhalten. Umgekehrt wollen freilich Sprachforscher im Worte elektron schon eine Andeutung von dem eigenthümlichen Verhalten des Bernsteins finden, wie denn die etymologische Erklärung der Benennungen desselben im Lateinischen, Persischen, Syrischen u. s. w. (harpax, karuba, carabe) als des Räubers und speciell Strohräubers auf eine ziemlich allgemein verbreitete Kenntniss dieser Erscheinung schliessen lässt. Diese Ansicht wird durch eine Stelle eines chinesischen Physikers Kuopho aus dem Anfang des vierten Jahrhunderts bestätigt, welcher die Anziehung von Senfkörnern durch den Bern-

---

[1]) Plato, Timaeus, Cap. 37; Strabo, Erdbeschreibung, Buch 15, Cap. 1; Plinius Secundus, Hist. nat., Buch 37, Cap. 11 und 12. — [2]) Aristoteles, De anima, Buch 1, Cap. 2.

Zweites Capitel.

Von Gilbert bis zur Entdeckung der beiden elektrischen Zustände durch Du Fay.

7. Ausgezeichnet durch ein für die damalige Zeit bedeutendes Wissen, voll Klarheit und Scharfsinn, durchdrungen von dem Werthe experimenteller Untersuchungen und selbst in hohem Masse befähigt solche auszuführen, ist William Gilbert aus Colchester, der Leibarzt und Schützling der Königin Elisabeth (1540 bis 1603), mit Galilei vergleichbar und wird von diesem selbst als „bis zum Neid-Erregen gross"[1]) bezeichnet. In seinem „Tractatus sive physiologia nova de magnete magneticisque corporibus et de magno magnete tellure", 1600, hält er zuerst die Eigenschaften des Magnets und des Bernsteins mit Bewusstsein auseinander und sondert die Erscheinungen, welche der letztere darbietet, als selbständigen Wissenszweig durch die berühmten Worte ab: „Vim illam electricam nobis placet appellare" (Wir schlagen vor, jene Kraft die „elektrische" zu nennen).[2]) Zugleich ermittelte er die Grundthatsachen der neuen Wissenschaft. Er entdeckte die Eigenthümlichkeit des Bernsteins noch an dem Diamant und verschiedenen anderen Edelsteinen, an reinem, durchsichtigem Glas, Schwefel, Gummilack und den meisten spathigen und harzigen Substanzen, während Elfenbein, hartes Holz und sämmtliche Metalle diese Beschaffenheit nicht besitzen. Das Reiben ist zur Elektrisirung unbedingt erforderlich und seine Lebhaftigkeit beeinflusst die Stärke der Wirkung; angezogen werden

[1]) Humboldt, Kosmos, Bd. 1, S. 264, 1870. — [2]) Tractatus, Ausgabe von 1628, Buch 2, Cap. 2, S. 54.

fast alle Körper. Der elektrische Zustand kann dadurch ermittelt werden, dass man die geriebenen Körper dem Ende eines Metallstäbchens nähert, welches nach Art einer Magnetnadel auf einer Spitze schwebt; es ist dies das erste sinnreiche Elektroskop. Durch Feuchtigkeit wird die Wirkung verringert und selbst ganz vernichtet, und dieser Umstand, sowie die Erregung der elektrischen Fähigkeit durch Reibung sind es, welche einen Hauptunterschied zwischen Elektricität und Magnetismus bedingen. Weniger befriedigend war Gilbert's Versuch zur Erklärung dieser Erscheinungen, die er mit dem Zusammenfliessen zweier Wassertropfen verglich, weshalb er das Ausströmen von eigenthümlichen, höchst feinen, mit Feuchtigkeit begabten Ausflüssen aus dem elektrischen Körper annahm. Wenn wir indess bedenken, dass die Naturphilosophen damals im Allgemeinen solche Ausflüsse als vorhanden voraussetzten, dass die Emanationstheorie des Lichtes von Newton auf einer ähnlichen Grundlage aufgebaut ist und dass wir uns in der Theorie der Wärme erst seit wenigen Jahrzehnten von derartigen Hypothesen freigemacht haben, wird uns Gilbert's Ansicht nicht mehr so befremdlich erscheinen. Sind wir doch auch heute noch weit entfernt von einer Einsicht in das Wesen dieser Dinge!

8. Gilbert's Arbeiten fanden in England selbst nur geringe Beachtung. Um so eifriger wurden sie auf dem Festland verfolgt. Ausser gelehrten Vermuthungen wurde allerdings wenig geleistet. Erst Otto von Guericke, Bürgermeister Magdeburgs und früher Ingenieur in schwedischen Diensten, der berühmte Zeitgenosse und Freund Galilei's, geboren 20. November 1602 zu Magdeburg, gestorben 11. Mai 1686 zu Hamburg (Fig. 1), trat

wieder in die Fussstapfen Gilbert's und erweiterte die Kenntniss elektrischer Erscheinungen wesentlich. Er erdachte sich das erste Instrument zum Studium der Elektricität (Fig. 2), das zwar noch keine Elektrisir-

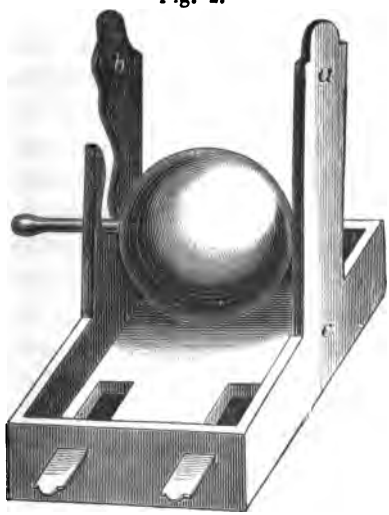
Fig. 1.

Otto von Guericke.

maschine im heutigen Sinne des Wortes war, aber doch als Vorläufer derselben betrachtet werden kann. Der Hauptsache nach war dies eine Schwefelkugel, welche, durchbohrt und auf eine horizontale Axe gesteckt, in hölzernen Lagern ruhte; indem er dieselbe mittelst einer

Kurbel in Drehung versetzte und dabei mit der trockenen Hand umfasste, wurde durch die Reibung so viel Elektricität erzeugt, dass er damit das schwache phosphorische Leuchten der Kugel im Dunkeln bei Annäherung eines Fingers und das knisternde Geräusch beim Reiben deutlich erkennen konnte. Er bemerkte zuerst, dass leichte Körper von den elektrisirten erst angezogen und dann abgestossen werden, bis sie mit irgend einem anderen in Berührung kommen, und gründete hierauf eine Menge interessanter Versuche, die man in den physikalischen Lehrbüchern des 17. und 18. Jahrhunderts beschrieben findet. Er beobachtete ferner Erscheinungen, welche auf der Uebertragung des elektrischen Zustandes durch Berührung, also auf der Mittheilung und Leitung der Elektricität, ferner auf der durch Annäherung in Leitern erzeugten Vertheilung beruhen; wenn die geriebene Kugel dem oberen Ende eines ellenlangen Leinenfadens genähert wird, vermag das untere Ende leichte Körper anzuziehen; Leinenfäden in der Nähe der Kugel fahren bei Annäherung des Fingers zurück. Indessen war Guericken das Wesen und die gesetzmässige Ver-

Fig. 2.



Maschine von Guericke.

knüpfung dieser Erscheinungen nicht klar und so kam es, dass seine Entdeckungen selbst von den Gelehrten nicht weiter beachtet wurden. Bei einer grösseren Maschine, welche er sich zur Verstärkung der elektrischen Kräfte erbauen liess, blieben die erhaltenen Wirkungen hinter den Erwartungen zurück. Guericke's elektrische Beobachtungen stammen hauptsächlich aus dem Jahre 1663 und wurden von ihm in dem berühmten Werke veröffentlicht: „Experimenta nova, ut vocantur Magdeburgica", Amsterdam 1672,[1]) welches im Jahre 1881 in einer neuen Ausgabe wieder erschienen ist.

9. Nach Guericke waren es wieder besonders die Engländer, welche die Lehre von der Elektricität förderten. Robert Boyle, 1626 bis 1691, constatirte 1670 die elektrische Anziehung im luftverdünnten Raume und machte auf die Abhängigkeit der Intensität der elektrischen Erregung von der Beschaffenheit der Oberfläche des geriebenen Körpers aufmerksam. Er schrieb die Erscheinung der wirbelnden Bewegung eines klebrigen Ausflusses aus dem elektrischen Körper zu.[2]) Isaak Newton, 1642 bis 1727, beobachtete 1675 die auf der Ladung einer elektrisirten Glasplatte beruhende Erscheinung, dass die durch Reiben an der einen Seite derselben erzeugte Elektricität ihre Wirkungen auch auf der anderen Seite zur Geltung bringt.[3]) Auch bemerkte er den Einfluss verschiedener Reibzeuge auf die Stärke der elektrischen Anziehung. Wall, der durch seine Untersuchungen über den Phosphor zu Experimenten mit Bernstein veranlasst wurde, zog 1708 zuerst aus einem grossen, mit Wolle geriebenen Stücke einen deutlichen, fast einen Zoll langen Funken und nahm

[1]) Buch 4, Cap. 15. — [2]) Boyle, Mechanical production of electricity, 1670. — [3]) Philosophical Transactions abridged, 1675.

den begleitenden Schall und die physiologische Wirkung desselben wahr, indem derselbe „beim Herausfahren den Finger auf eine gar empfindliche Art, mit einem jähen Stoss oder Blasen, gleich einem Winde berührte". Auch verglich er schon Licht und Knistern „einigermassen" mit Blitz und Donner.[1])

10. Inzwischen war eine neue elektrische Erscheinung beobachtet worden, welche eine ganze Literatur zur Folge hatte. Picard hatte 1675 im luftleeren Raum der Barometerröhre bei Erschütterungen ein Leuchten bemerkt.[2]) Johann Bernoulli, Cassini, Du Fay und Andere suchten dasselbe vergeblich zu erklären. Ein geschickter englischer Mechaniker, Franciscus Hawksbee, über dessen Lebensverhältnisse, wie bei manchem seiner Nachfolger, leider alle Angaben fehlen, erkannte die Reibung des Quecksilbers an der Glaswand als die Ursache, die Erscheinung mithin als eine elektrische, und diese Ansicht, welche gegenüber dem Ansehen Bernoulli's erst 1745 durch Ludolff zu allgemeiner Geltung gelangte, veranlasste ihn zu verschiedenen Versuchen über das Leuchten luftleerer gläserner Röhren und Kugeln, welche durch Reiben elektrisirt oder in der Nähe von elektrischen Körpern bewegt und somit durch Influenz elektrisch werden.[3]) Der hohe Grad der elektrischen Erregung, den das Glas dabei äusserte, bestimmte ihn zur Construction einer elektrischen Maschine mit diesem Material (Fig. 3); er drehte eine hohle Kugel und später einen Cylinder aus Glas durch Schnur und Rad und benützte ebenfalls die Hand zum Reiben. Doch untersuchte er auch Kugeln aus

[1]) Phil. Trans. abridg., Bd. 26, Nr. 314, S. 170. — [2]) Du Hamel, Historiæ regiae scientiarum academiae, S. 331. — [3]) Phil. Trans., Nov. 1705 und Juli 1708.

Siegellack, Schwefel und anderen Stoffen und bediente sich der Wolle als Reibzeug. Er bemerkte die eigenthümliche Empfindung, welche entsteht, wenn man das Gesicht

Fig. 3.

Maschine von Hawksbee.

einem elektrischen Körper nähert und beobachtete die verschiedenen Wirkungen der elektrischen Anziehung und Abstossung an theils einzeln, theils nebeneinander frei hängenden Fäden; vor Allem ist seine Wahrnehmung interessant, dass die letzteren, wenn sie an der Axe der

rotirenden Kugel angebracht sind, bei Elektrisirung derselben durch Reibung auseinandergehen, eine Erscheinung, welche später bei Construction der Elektroskope Verwendung gefunden hat. Hawksbee suchte die Ursache der elektrischen Bewegungen in einem Ausfluss von Dämpfen, welche durch den Widerstand der Luft zum elektrisirten Körper zurückgetrieben werden und bei diesem Rückstosse leichte Körper mit sich fortreissen. Seine auf die Elektricität bezüglichen Arbeiten sind in den „Physico-mechanical Experiments" 1709 gesammelt. Er starb 1713.

11. Hawksbee's Entdeckungen veranlassten viele Versuche, doch sind von diesen nur die Beobachtungen von Johannes Bernoulli und Jacob Cassini erwähnenswerth, dass auch das Katzenfell beim Streichen Funken sprüht und dass die Lichterscheinungen besonders beim Reiben des Glases mit Quecksilberamalgam beträchtlich sind.[1])

12. Stephan Gray, von einem Karthäuserkloster durch einen Ehrensold ausgezeichnet, seit 1696 mit unermüdlichem Eifer wissenschaftlich thätig, gestorben 14. Februar 1735, gab, von seinem Freunde Granville Wheeler, einem Geistlichen, unterstützt, der Elektricitätslehre die nächste Förderung.[2]) Seit 1720 mit elektrischen Untersuchungen beschäftigt, bemerkte er 1727, dass ein Korkstöpsel, der eine Glasröhre verschloss, durch Reiben der Röhre selbst elektrisch wurde, und entdeckte im Verfolge dieser Erscheinung die Leitung der Elektricität durch Metalle, Hanffäden und andere Körper bis auf eine

[1]) Mémoires de l' Academie de Paris, 1707. — [2]) Phil. Trans. 1731, 32, 35, 36; Phil. Trans. abridg., Bd. 7 und 8.

Entfernung von 800 Fuss (240 Meter) am 2. Juli 1729.[1]) Die Nichtleitbarkeit durch seidene Schnüre, Haare, einen Harzkuchen u. s. w. benützte er 1732 zur Erfindung des Isolirschemels; dadurch war die Möglichkeit geboten, auch an den sogenannten Leitern, den durch Reibung nicht elektrisirbaren Körpern, elektrische Versuche anzustellen und die Vertheilung der Elektricität und besonders die Influenzwirkungen näher zu studiren. So elektrisirte Gray zum erstenmale einen Menschen. Auch Wasser und Seifenblasen wurden von ihm elektrisirt und die Unabhängigkeit der elektrischen Erregung von der Masse des elektrisirten Körpers an einem hohlen und einem massiven Holzwürfel festgestellt.

13. Charles François de Cisternay du Fay, erst Officier und später Intendant des botanischen Gartens in Paris, 14. September 1698 geboren und 16. Juli 1739 gestorben, erfasste mit Begeisterung die Entdeckungen Gray's und setzte dessen Untersuchungen sehr erfolgreich fort.[2]) Ihm verdankt die Lehre von der Elektricität vor Allem die höchst wichtige Wahrnehmung, dass sich zwei verschiedene elektrische Zustände unterscheiden lassen, welche er nach den Hauptrepräsentanten derselben als Glas- und Harzelektricität bezeichnete, derart dass gleichnamig elektrisirte Körper einander abstossen, ungleichnamig elektrisirte sich anziehen; die Vereinigung beider in demselben Grade giebt den neutralen, unelektrischen, natürlichen Zustand. Du Fay suchte den Grund hiervon in der Existenz zweier Flüssigkeiten, die er sich mit den entsprechenden Eigenschaften begabt dachte. Nicht

---

[1]) Priestley, Geschichte der Elektricität, übersetzt von Krünitz, S. 20, 1772. — [2]) Mém. de l'Acad. de Paris, 1733, 1734 und 1737.

elektrisirte Körper werden von den elektrischen erst angezogen, erhalten durch Mittheilung gleichnamige Elektricität und werden in Folge dessen dann abgestossen, so lange sie dieselbe nicht durch Berührung an einen anderen Körper weiter gegeben haben. Du Fay hob mit Recht hervor, dass „sich durch diesen ganz einfachen Grundsatz ein grosser Theil der Unregelmässigkeiten und, wofern man sich so ausdrücken darf, des Eigensinnes, welche die meisten elektrischen Versuche zu begleiten scheinen, leicht erklären lässt". Durch die ungleiche Divergenz von nebeneinanderhängenden Fäden aus verschiedenen Stoffen bei gleich starker Elektrisirung derselben verglich er ferner deren Leitungsfähigkeit und legte so den Grund zum Erkennen und Messen der elektrischen Erregung der Körper, sowie zu der später erfolgten Erfindung der Elektroskope und Elektrometer. Er erkannte endlich zuerst die leitende Natur der Flamme und zog aus einem isolirten Knaben zur allgemeinen Bestürzung den ersten Funken.[1])

14. Besonders dieses letzterwähnte Ereignisss erweckte auch in weiteren Kreisen grosses Interesse für die Elektricität; die Entdeckung der beiden elektrischen Zustände hingegen scheint nicht sofort die verdiente Aufmerksamkeit auf sich gezogen zu haben und die Annahme zweier verschiedener elektrischer Flüssigkeiten wurde von Du Fay's Zeitgenossen sogar sehr skeptisch aufgenommen;[2]) man glaubte die von ihm gemachten Beobachtungen durch die verschiedene Stärke der elektrischen Erregung hinlänglich erklären zu können, und

[1]) Nollet, Leçons de physique, Bd. 6, S. 408, 1745—49; Histoire de l'Acad. de Paris, Bd. 51, S. 457, 1733.— [2]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 316 Anm., 1772.

selbst Du Fay scheint sich später dieser Ansicht zugewandt zu haben.[1]) Der Unterschied in der Leitbarkeit der Elektricität durch verschiedene Körper wurde jedoch zugegeben und die von Johann Theophil Desaguliers, dem Hofprediger des Prinzen von Wales, 1683 bis 1744, im Jahre 1739 vorgeschlagenen Bezeichnungen: elektrisches Leitungsvermögen, elektrische Leiter und Nichtleiter, kamen bald allgemein in Aufnahme.[2])

Drittes Capitel.

Die Geschichte der Reibungs-Elektrisirmaschine.

15. Die nächsten Bemühungen waren hauptsächlich der Vervollkommnung der Elektrisirmaschine gewidmet, um welche sich in erster Linie die Deutschen verdient gemacht haben. Guericke's und Hawksbee's Vorrichtungen waren unbeachtet geblieben und man zog es allgemein vor, bei Versuchen die Elektricität durch Reiben von Glasröhren mit der Hand zu erzeugen. Der Leipziger Professor Christian August Hausen, 1693 bis 1743, war es, der die Röhren wieder durch eine Kugel ersetzte und diese auf den Vorschlag eines seiner Zuhörer, Namens Litzendorf, durch ein Rad zum Drehen brachte, 1743.[3]) Diese Maschine unterschied sich also von der Hawksbee's gar nicht und von der Guericke'schen nur dadurch, dass an Stelle des Schwefels das Glas getreten war.

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 32, 1772. — [2]) Desaguliers, Course of Experimental Philosophy, Th. 2, S. 306, 1744. — [3]) Hausen, Novi profectus in historia electricitatis, 1743.

16. Georg Mathias Bose, Professor in Wittenberg, 1710 bis 1761, war schon 1734 selbständig auf die gleiche Einrichtung gekommen, später aber fügte er zu der Maschine noch ein sehr wichtiges Stück hinzu, nämlich einen isolirten Leiter zur Ansammlung der Elektricität, eine beiderseits offene Röhre von Eisenblech, aus welcher an dem einen Ende, gleichsam als Vorläufer des metallischen Saugkammes, ein Bündel Flachsfäden ragte, welche die gedrehte Kugel beinahe berührten.[1]) Mit diesem Apparate entzündete er durch Funken, die er aus seinem Finger zog, im April 1744 Weingeist und selbst erwärmtes Siegellack, Pech, Oel u. s. w.,[2]) nachdem der Feldmedicus Christian Friedrich Ludolff in der königlichen Akademie in Berlin schon im Anfang desselben Jahres Schwefeläther entzündet hatte.[3]) Bose nahm mit seiner Maschine ferner die sogenannte „Beatification" vor,[4]) eine Aufsehen erregende Spielerei, welche auf der von ihm gemachten Entdeckung beruhte, dass die reibende Person, wenn isolirt, selbst elektrisch wird,[5]) und endlich zeigte er, dass die Körper durch Elektrisiren nicht merklich schwerer werden.

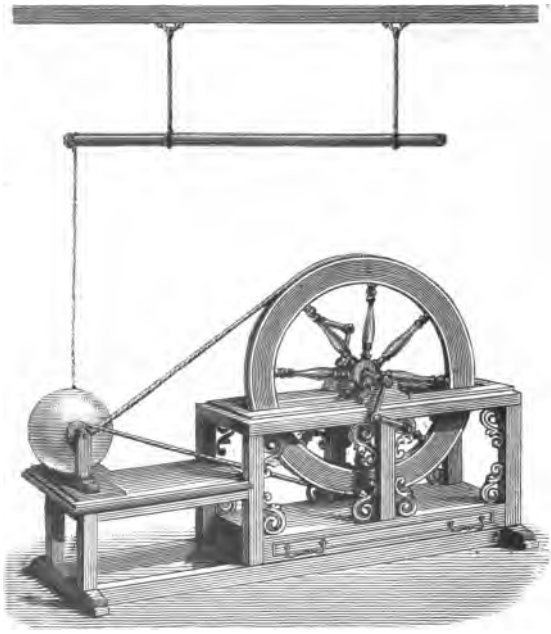
Die Elektrisirmaschine kam jetzt in Mode. Der Erfurter Professor Andreas Gordon, ein schottischer Benedictinermönch, der mancherlei elektrische Spielereien erfunden hat, so das elektrische Glockenspiel, das elekrische Flugrad u. s. w., 1712 bis 1751, ersetzte die Kugel wieder durch einen Cylinder und sein Beispiel

---

[1]) Phil. Trans. abr., Bd. 8, S. 296; Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 1, S. 276, 1747. — [2]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 1, S. 280, 1747. — [3]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 1, S. 284, 1747. — [4]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 411. — [5]) Wilson, Essay, Vorrede S. 14.

fand bald vielfach Nachahmung, da dadurch beim Reiben eine grössere Fläche erregt werden kann. Ein Beispiel der damaligen Einrichtung der Maschinen liefert die des Abbé Nollet (Fig. 4), bei welcher die Elektricität von

Fig. 4.



Maschine von Nollet.

der mit der Hand geriebenen Kugel durch eine Metallkette zum isolirten Conductor geleitet wird.

17. Bisher hatte man noch mit der Hand gerieben, so dass der Gebrauch der Maschine etwas umständlich war. Johann Heinrich Winkler, Professor der classischen Sprachen und der Physik in Leipzig, ein um die Elektricitätslehre sehr verdienter Mann, 1703 bis 1770,

trug sich daher mit dem Gedanken, ein wollenes oder mit Haaren ausgestopftes ledernes Kissen als Reibzeug durch Metallfedern an den Cylinder andrücken zu lassen; da wurde er von dem Drechsler Johann Georg Giessing mit der fertigen Maschine überrascht, nur dass bei dieser die Feder durch eine weniger praktische Schraube ersetzt war.[1]) Mit den so verbesserten Maschinen wurden bald eine Menge interessanter Versuche angestellt. So benützte Gordon z. B. die Leitung der Elektricität durch einen Wasserstrahl, um durch einen solchen Spiritus in Brand zu setzen.[2]) Durch Kratzenstein in Halle wurden besonders die physiologischen Wirkungen der Elektricität untersucht[3]) und durch den Abbé Nollet in Paris und Andere kleine Vögel und sonstige Thiere getödtet.[4]) Der Hallenser Professor Johann Gottlob Krüger nahm ferner 1746 die erste chemische Wirkung der Elektricität wahr, indem sich die rothen Blumenblätter des wilden Mohns an den durch den Funken getroffenen Stellen entfärbt zeigten.[5])

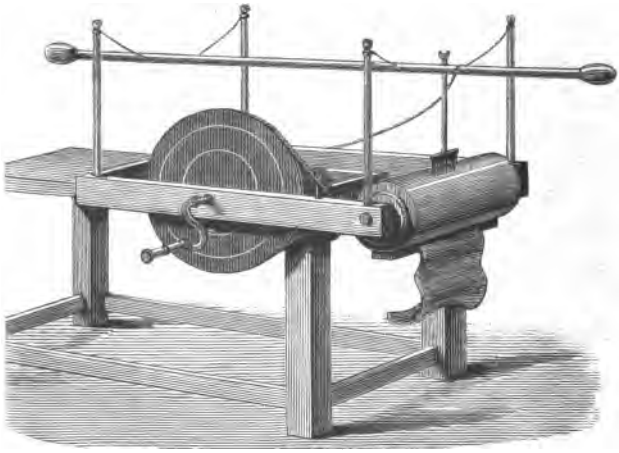
18. Die Verbesserungen an der nun erst praktisch verwendbar gewordenen Maschine folgten rasch aufeinander. Die Engländer Watson und Wilson entdeckten gegen Ende des Jahres 1746, dass, um einigermassen starke Ladungen zu erhalten, der Conductor ableitend berührt werden muss. William Watson führte daher einen Draht vom Conductor zur Erde, während man jetzt in der Regel das Reibzeug ableitet. Um ferner die Intensität der elektrischen Erscheinungen zu erhöhen, brachte Watson nach

---

[1]) Winkler, Gedanken von den Eigenschaften, Wirkungen und Ursachen der Elektricität, S. 12, 1744. — [2]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 276. — [3]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 2, S. 358, 1754. — [4]) Nollet, Recherches sur l'électr., S. 172. — [5]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 3, S. 493, 1756; Krüger, Gesch. d. Erde, S. 175, 1746.

dem Vorgange der Deutschen an seiner Maschine nicht weniger als vier übereinanderstehende Glaskugeln an, welche auf einmal gedreht wurden und sich an vier Kissen rieben.[1]) Benjamin Wilson leitete die Elektricität um das Jahr 1746 an Stelle der Flachsfäden Bose's oder der später gebräuchlichen Quaste von Goldfäden durch

Fig. 5.



Maschine von Wilson.

einen Metallkamm mit Saugspitzen als Zuleiter oder „Collector" aus dem Cylinder zum Leiter (Fig. 5).

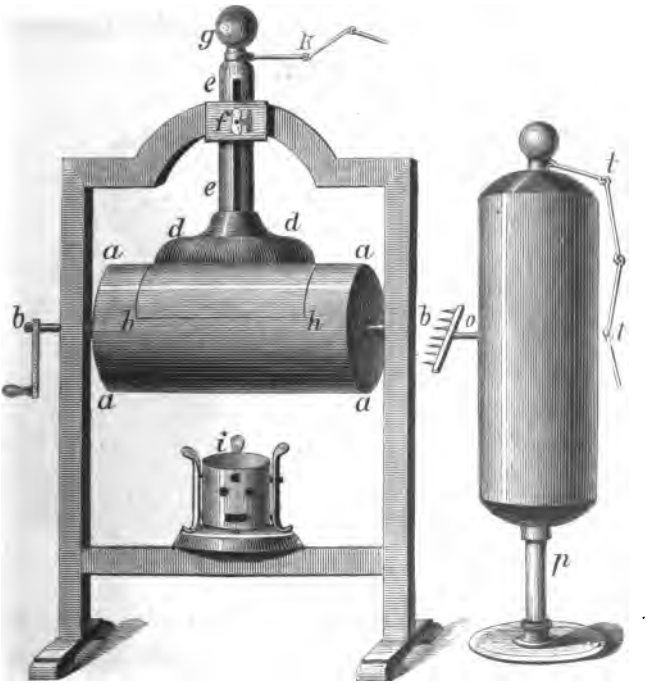
Dann suchte man durch Veränderung des Reibzeuges eine Verstärkung der Wirkung zu erzielen. Schon zwei Jahre vorher, 1744, hatte der hessische Finanz- und Bergrath J. F. Waitz das wollene Kissen zu diesem Zwecke mit Wachs bestrichen und mit Oel befeuchtet.[2])

---

[1]) Priestley, Geschichte, S. 348, 1772. — [2]) Waitz, Abhandl. v. d. Elektr., Cap. 2, 1745.

Ebenso fand John Canton 1751 in Oel getränktes Seidenzeug beim Reiben sehr wirksam;[1]) als er später aber entdeckte, dass eine in Quecksilber getauchte Glasröhre nach

Fig. 6.



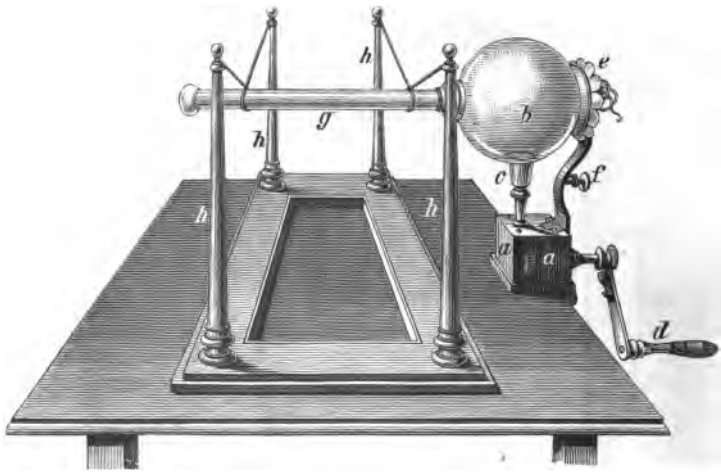
Maschine von Lichtenberg.

dem Herausziehen stark elektrisch ist,[2]) veranlasste ihn dies 1762, zur bedeutenden Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Maschine das Reibzeug mit Zinnamalgam zu be-

[1]) Phil. Trans. abr., Bd. 47, S. 239, 1752. — [2]) Phil. Trans., Bd. 52, S. 461, 1762.

legen.[1]) Auf Vorschlag Nooth's wurde das Woll- oder Lederkissen zuerst von Cavallo durch ein seidenes ersetzt und überdies an demselben noch ein Stück Wachstaffet angebracht, welches an dem Glascylinder anliegt, um das Entweichen der Elektricität zu verhindern.[3]) Da Canton's Amalgam inzwischen manche Uebelstände

Fig. 7.



Maschine von Nairne.

gezeigt hatte, suchten Higgins,[4]) Adams[5]) und Andere dasselbe durch ein besseres zu ersetzen; alle und ebenso auch die späteren wurden aber durch die Mischung verdrängt, welche der Appellationsrath und Kanzleidirector Franz Freiherr von Kienmayer, gestorben 1802 in Wien,

---

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 50. — [2]) Phil. Trans. Bd. 63, Nr. 35, 1763. — [3]) Cavallo, Vollständige Abhandlung v. d. Elektr., 4. Aufl., Bd. 1, S. 146, 1797. — [4]) Phil. Trans., Bd. 18, Th. 2, Nr. 38, 1788. — [5]) Adams, Essay on Electr., 1784.

1788 vorschlug und welche als die zweckmässigste noch heute im Gebrauch ist.[1]) Als Muster vorzüglicher Ma-

Fig. 8.

Maschine von Priestley.

schinen wurden damals namentlich jene von Lichten-

[1]) Brief an Ingenhouss, Journ. de phys., Aug. 1788.

berg (Fig. 6), Nairne (Fig. 7) und Priestley (Fig. 8) angesehen. Die Abbildungen derselben zeigen, dass neben den Cylindern auch die Kugeln noch immer Verwendung fanden.

19. Mittlerweile war eine neue Art von Maschinen aufgetaucht und wegen ihrer praktischen Form ist diese seit Ende des vorigen Jahrhunderts immer mehr in allgemeine Aufnahme gekommen. Der Seminar-Director Planta aus Süss im Engadin verwendete nämlich 1755 zuerst an Stelle der Glascylinder Scheiben, an denen er beiderseits Reibkissen anbrachte.[1]) Neben ihm wurden früher ausserdem noch der Physiker Sigaud de la Fond, der Arzt Ingenhouss, der Mechaniker Ramsden und Andere als Erfinder dieser Maschinen bezeichnet.

Bald construirte man Apparate dieser Art von einer Grösse, dass ihre Wirkungen in jeder Beziehung ausserordentlich waren. Der Duc de Chaulnes besass einen solchen, dessen Scheibe 5 Fuss (162 Centimeter) im Durchmesser hatte und Funken von 22 Zoll (60 Centimeter) Länge gab. Die berühmteste und grösste Maschine dieser Art wurde aber von dem Amsterdamer Mechaniker John Cuthberson nach Anleitung und im Auftrage von Martin van Marum 1785 für das Teylersche Museum in Haarlem gebaut.[2]) Diese hatte zwei Scheiben von 65 engl. Zoll (165 Centimeter) im Durchmesser; dieselben standen $7\frac{1}{2}$ Zoll (19 Centimeter) weit von einander und jede von ihnen hatte zwei Wachs-

---

[1]) Allgem. deutsche Bibliothek, Anh. zum 13. bis 24. Bd., 1. Abth., S. 549. — [2]) Van Marum, Beschreibung einer ungemein grossen Elektrisirmaschine etc., 1786, 1788 und 1796.

taffet-Reibzeuge von 15½ Zoll (40 Centimeter) Länge einander diametral gegenüber und zwei Kämme. Die Wirkungen der Maschine entsprachen diesen Dimensionen. Sie gab Funken von 24 Zoll (61 Centimeter) Länge von der Dicke einer Federpose; ihr Einfluss auf ein Goldblatt-Elektroskop war 40 Fuss, also über 12 Meter weit wahrnehmbar. Die dunklen Entladungen, das sogenannte Büschellicht, hatten 15 Zoll (38 Centimeter) im Durchmesser. Freilich waren auch zwei Männer erforderlich, um diese Maschine in Bewegung zu setzen.

Van Marum war erst praktischer Arzt und dann Director des Teyler'schen Museums, 1750 bis 1837. Er baute später eine noch kräftigere Maschine, aber in weniger praktischer Form. Auch machte er den Vorschlag, zur Erzeugung negativer Elektricität Scheiben aus Harz, Wachs, Pech, Holz u. s. w. zu verwenden, welcher aber keine allgemeine Annahme gefunden hat. Man hat vielmehr zu diesem Zwecke nach einer Bemerkung Priestley's[1]) und nach Le Roy's[2]) Vorgang einen zweiten Leiter mit dem isolirten Kissen in Verbindung gebracht, wodurch es ermöglicht wurde, mit jeder Maschine nach Belieben beide Arten von Elektricität zu erhalten. Da bei feuchtem Wetter die Glasscheiben wegen ihrer Hygroskopicität unwirksam werden, verwendet man in neuester Zeit auch Scheiben aus Hartgummi mit Kissen aus Seidenzeug.

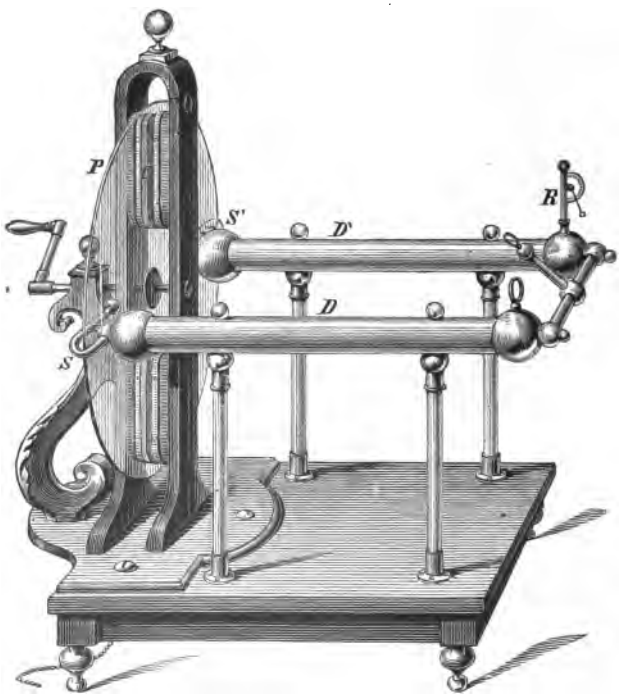
20. Die Geschichte dieser Maschinen schliesst mit einer Verbesserung, welche der vor kurzer Zeit verstorbene

---

[1]) Fischer, Gesch. der Physik, Bd. 5, S. 639, 1801—8. — [2]) Rozier, Observ. et mém. sur la phys., Bd. 5, S. 53, 1775.

Wiener Mechaniker Karl Winter daran angebracht hat. Es ist dies ein hohler Holzring, welcher bis 4 Fuss (120 Centimeter) im Durchmesser hat, auf den oben

Fig. 9.

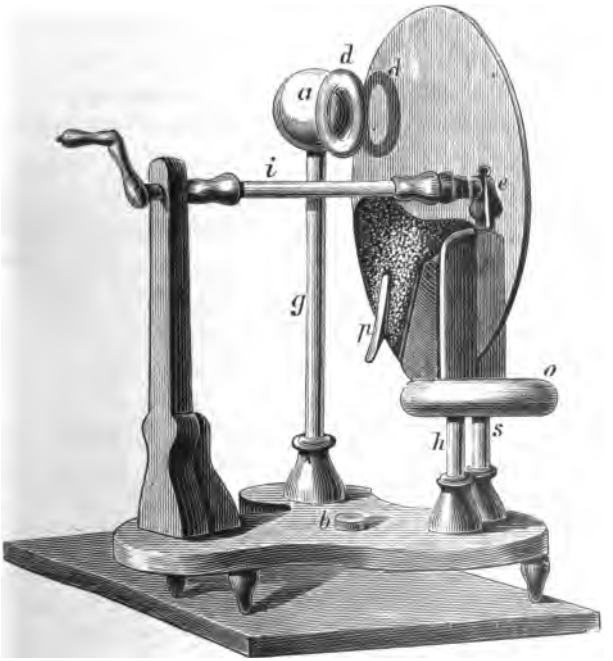


Maschine von Ramsden.

offenen Kugel-Conductor aufgesetzt wird und innen einen Eisendraht trägt, der die innere Seite des Conductors berührt. Dadurch wird die Capacität der Maschine bedeutend gesteigert und man hat mit einem Apparat im physikalischen Cabinet des Wiener poly-

technischen Instituts sogar Funken von 42 Zoll (110 Centimeter) Länge erhalten.[1]) Gewöhnlich pflegt man jetzt zu beiden Seiten der Scheibe ein isolirtes Kissen und je einen ringförmigen Saugkamm mit feinen Metall-

Fig. 10.



Maschine von Winter (ohne den ringförmigen Conductor).

spitzen oder noch besser diametral gegenüberliegend zwei Doppel-Reibzeuge und zwei Collectoren anzubringen.

---

1) Hessler-Pisko, Lehrbuch der technischen Physik, 3. Aufl., Bd. 1, S. 489, 1866.

Für grössere Leistungen werden zwei grosse Scheiben mit doppelten Reibzeugen auf einer Axe vereinigt. Die Apparate von Ramsden (Fig. 9) und Winter (Fig. 10) können als Muster von Scheibenmaschinen betrachtet werden.

Viertes Capitel.

Von der Entdeckung der Kleist'schen Flasche bis zum Auftreten Franklin's. 1745–1747.

21. Wir kehren zum Jahre 1745 zurück. Durch die vielen Entdeckungen und die mannigfachen Spielereien, welche auf Grund derselben erfunden wurden, war die allgemeine Aufmerksamkeit derart auf die Elektricität gelenkt worden, dass in diesem Jahre, namentlich in Deutschland und Holland, elektrische Versuche öffentlich für Geld vorgezeigt wurden.[1]) Viele beschäftigten sich aus Liebhaberei mit diesem Gegenstande, darunter auch der Dechant des Domcapitels und residirende Prälat v. Kleist zu Cammin in Pommern, der dabei eine der wichtigsten Entdeckungen des Jahrhunderts machen sollte. Er versuchte nämlich am 11. October des genannten Jahres, ein Medicin-Gläschen statt direct durch Reibung durch Mittheilung zu elektrisiren, indem er einen eisernen Nagel in dasselbe steckte und diesen an den Conductor der Elektrisirmaschine hielt; als er den Nagel wieder herausziehen wollte, empfing er beim Berühren desselben einen empfindlichen Schlag, dessen Wirkung noch zunahm, wenn sich in dem Glase etwas Quecksilber oder Weingeist befand.[2])

[1]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 1, S. 268, 1747. — [2]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 2, S. 406, 1754.

Er berichtete diese merkwürdige Thatsache an Lieberkühn in Berlin, Professor Krüger in Halle, Winkler in Leipzig und den Diakonus Paul Swietlicki in Danzig, von welchen dieselbe in Mittheilungen an die Berliner Akademie und die Danziger Naturforschende Gesellschaft, sowie in Krüger's „Geschichte der Erde"[1]) weiter veröffentlicht wurde; doch erst am 5. März 1746 gelang es Gralath in Danzig, den Versuch zu wiederholen.

22. Inzwischen war in Holland durch eine ähnliche Veranlassung die gleiche Entdeckung gemacht worden. Der Leydener Professor Pieter van Musschenbroek, 1692 bis 1761, elektrisirte Wasser in einer Glasflasche, weil er durch diese isolirende Umhüllung die Elektricität länger zurückzuhalten hoffte. Ein Privatmann aus Leyden, Namens Cunaeus, der die Flasche in der Hand hielt, wollte den Metalldraht, durch den die Elektricität von der Maschine in's Wasser geleitet worden war, mit der anderen Hand entfernen, da erhielt er ebenso, wie seinerzeit Kleist, einen Schlag.[2]) Musschenbroek theilte dieses Ereigniss Anfangs 1746 Réaumur in Paris mit der Bemerkung mit, dass er keinen zweiten Schlag ausstehen wolle, wenn man ihm gleich das Königreich Frankreich dafür anböte.[3]) Der Professor der Philosophie in Leyden Allamand beschrieb den Versuch in den Memoiren der Pariser Akademie 1746.

23. Der Danziger Bürgermeister Daniel Gralath, 1708 bis 67,[4]) war der erste, welcher die gemachte Entdeckung weiter verfolgte. Er wies die Nothwendigkeit der gleichzeitigen Berührung des am Drahtende angebrachten

[1]) Krüger, Gesch. d. Erde, S. 177, 1746. — [2]) Dalibard, Hist. abrégée de l'électr., S. 33, 1756. — [3]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 56. — [4]) Hoppe, Gesch. d. Elektr., S. 18, 1884.

Metallknopfes und der Aussenseite der Flasche nach, April 1746, und construirte die erste Batterie, indem er die Zuleitungsdrähte mehrerer Flaschen miteinander verband, diese selbst in Wasser stellte und durch das letztere die äusseren Oberflächen mit seinem Körper in leitende Verbindung brachte. Auch versuchte er am 20. April dieses Jahres zuerst, die elektrische Erschütterung durch mehrere Personen fortzupflanzen; 20 Menschen bildeten durch gegenseitiges Anfassen oder durch sonstige leitende Verbindung eine Kette, der erste hielt die elektrische oder, wie man später sagte, geladene Flasche in der Hand, der etzte berührte den Zuleitungsknopf; dabei zeigte sich, dass die Elektricität von mehreren Schliessungskreisen den bestleitendenvor zieht.[1]) Gralath hat sich auch durch eine „Geschichte der Elektricität" in drei Theilen, erschienen in den „Versuchen und Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Danzig", 1747, 1754 und 1756, um die Wissenschaft sehr verdient gemacht.

24. Der Abbé Jean Antoine Nollet in Paris, 1700 bis 1770, stellte unabhängig von Gralath den zuletzt erwähnten Versuch im Grossen an, und zwar zuerst mit 170 Personen in einer Gallerie zu Versailles[2]) und später mit einem Faden von 900 Toisen (1754 Meter) Länge. Er tödtete Vögel und Fische[3]) und sprengte Gläser durch den elektrischen Schlag.[4]) Er erkannte auch schon, dass das Wasser nur zur Leitung der Elektricität an die inneren Wände diene und betrachtete die isolirende Eigenschaft des Glases als den eigentlichen Grund der Erscheinung.[5])

---

[1]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 2, S. 439. — [2]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 335. — [3]) Nollet, Recherches sur l'électr., S. 426. — [4]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 335. — [5]) Nollet, Lettres sur l'électr., Th. 1, S. 42, 1753.

Da ihm die erste Nachricht über den Versuch aus Leyden zugekommen war, benannte er ihn nach dieser Stadt, obwohl Kleist nicht nur die Priorität der Entdeckung beanspruchen kann, sondern auch, wie sein Bericht an Swietlicki[1]) beweist, die näheren Umstände derselben gebührend gewürdigt hatte; dennoch blieb Nollet's Beispiel für die Folgezeit massgebend, da sein Name damals zu den angesehensten auf dem Gebiete der Elektricität gehörte. Er verdankte dieses ausser seinem regen Eifer für die Wissenschaft und einer ausgebreiteten Correspondenz namentlich auch einer Theorie der elektrischen Erscheinungen, zu welcher er sich durch seine Untersuchungen über das Elektrischwerden nicht isolirter Körper in der Nähe elektrisirter veranlasst fand und welche nach dem Auftreten der Franklin'schen Hypothese lebhafte wissenschaftliche Erörterungen hervorrief.[2]) Nollet's Grundanschauung bestand darin, dass alle elektrischen Vorgänge durch die gleichzeitige Bewegung eines einzigen Fluidums in zwei einander entgegengerichteten Strömen erklärt werden könnten, welche durch verschiedene Arten von Poren aus dem elektrischen Körper heraus- und in denselben eintreten.

25. Die Versuche Winkler's mit der Kleist'schen Flasche laufen in mancher Beziehung mit denen Gralath's parallel. Die heftigen Wirkungen, welche er bei den ersten Entladungen erhielt, wie Convulsionen, Kopfschmerz und Nasenbluten, veranlassten ihn, die Verbindung zwischen den beiden Flächen der Flasche dadurch herzustellen, dass er dieselbe auf einen Metallteller setzte

[1]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 2, S. 407, 1754. — [2]) Nollet, Leçons de phys. expér., Th. 6, S. 107 u. 426, 1743—50; Mém. de l'Acad. de Paris, S. 1, 1746.

und von diesem aus eine Kette dem Knopf des Zuleitungsdrahtes näherte, wobei sich, wie auch früher bei Gralath, zeigte, dass die Elektricität von mehreren Schliessungskreisen den bestleitenden vorzieht. Er ersetzte diese Metallverbindung darauf durch Wasser, indem er am 28. Juli 1746 drei grosse Flaschen in die Pleisse senkte, deren Zuleitungsdrähte er vereinigt hatte, und erfand dadurch auch seinerseits eine primitive Batterie. Die Wirkungen waren überraschend; 200 Schritte weit konnte man die Funken wahrnehmen. Er entdeckte endlich, und zwar vor dem 16. August 1746,[1]) den elektrischen Ladungsrückstand, welchen auch Gralath[2]) und Wilson[3]) bemerkten. Er schrieb die auffallenden Wirkungen einer „elektrischen Kraft des Wassers" zu.

Der englische Maler Benjamin Wilson, 1708 bis 1788, bemühte sich hauptsächlich, das Gesetz für die Anhäufung der Elektricität in der Flasche zu ermitteln, und fand dieselbe, einem an Smeaton gerichteten Schreiben vom 6. October 1746 zufolge, proportional der Dünne des Glases und der Berührungsfläche desselben mit dem darin befindlichen leitenden Körper, als welchen er gewöhnlich Wasser wählte,[4]) ein Satz, der erst 1776 von Cavendish streng bewiesen wurde.[5])

26. Analoge Resultate, wie die vorgenannten, erhielt der Arzt Louis Guilleaume Le Monnier.[6]) Er präcisirte dieselben zuerst deutlich dahin, dass zur Ladung der Flasche die ableitende äussere Berührung, sowie zur Entladung die Verbindung des inneren Drahtes mit der

[1]) Winkler, Elektr. Kraft des Wassers, S. 39, 1746. — [2]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 2, S. 442, 1754. — [3]) Poggendorff, Gesch. d. Phys., S. 855 u. 860. — [4]) Wilson, Essay, S. 88. — [5]) Phil. Trans., Bd. 66, S. 196, 1776. — [6]) Mém. de l'Acad. de Paris, 1746 u. 1747.

Aussenseite erforderlich ist; eine geladene Flasche behält selbst 36 Stunden lang ihre Kraft.[1]) Le Monnier bemerkte, dass durch Berührung des inneren Drahtes die Aussenseite elektrischer Anziehung fähig werde, ein Umstand, dessen gründlichere Erörterung ihn zu Franklin's grosser Entdeckung hätte führen können. Auch er erkannte die Abhängigkeit der elektrischen Ladung von der Grösse der Oberfläche eines Körpers, und fand dieselbe bei Körpern mit gleich grosser Oberfläche an den langgestreckten grösser, ohne freilich hieraus Schlüsse auf den Sitz der Elektricität an der Oberfläche der Körper und auf die Wirkung der Spitzen zu ziehen. Er leitete die Elektricität ebenfalls durch Wasser und durch einen auf der Erde frei liegenden Eisendraht bis zu einer Entfernung von 2000 Toisen (3900 Meter) hin. Beim Versuche, die Geschwindigkeit der Elektricität zu messen, fand er dieselbe grösser als 950 Toisen (1850 Meter) in einer viertel Secunde.

27. In noch grösserem Massstabe wiederholte William Watson, 1715 bis 1787, Apotheker, später Conservator des britischen Museums und zuletzt Arzt in London, im Juli und August 1747 diese Versuche, so dass ihm Musschenbroek darüber schrieb: magnificentissimis tuis experimentis superasti conatus omnium (durch Deine überaus grossartigen Versuche hast Du die Bemühungen aller Anderen weit übertroffen). Er fand die Geschwindigkeit selbst bei einer Leitung von vier englischen Meilen oder mehr als 6 Kilometern noch unmessbar.[2]) Diese unter Beihilfe zahlreicher Gelehrten unternommenen und allenthalben grosses Aufsehen erregenden Versuche haben

[1]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 333. — [2]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 363.

für die Wissenschaft insoweit besondere Bedeutung erlangt, als bei denselben die Leitungsfähigkeit der Erde am 24. Juli 1747 entdeckt und am 5. August 1747 als unzweifelhaft nachgewiesen wurde; die Elektricität wurde am 14. August 1747 einmal durch zwei englische Meilen, also mehr als 3 Kilometer trockenen Bodens fortgeleitet.[1])

Watson erkannte ferner die Schlagstärke einer Flasche als lediglich durch die Grösse der mit der Hand oder einem sonstigen leitenden Körper berührten Fläche bestimmt, dagegen unabhängig von der Beschaffenheit der Füllung und dieser aussen berührenden Materie, soferne dieselben nur eben die Elektricität zu leiten vermögen. Dadurch war der Gedanke nahe gelegt, die Flasche mit einem metallischen Leiter, am besten mit Blei oder Zinnfolie zu belegen. Dies that Dr. Bevis,[2]) zunächst nur auf der Aussenseite, und fand die Ladung beträchtlich verstärkt. Als Bevis[3]) oder nach der Angabe Franklin's[4]) und der Meisten vielmehr der Mechaniker Smeaton in Austhorpe bei Leeds, 1724 bis 1792, auch mit einer auf beiden Seiten derart belegten Glastafel, einer später so genannten Franklin'schen Tafel, kräftige Schläge erhielt, veranlasste dies Watson, irdene Krüge ebenfalls auf beiden Seiten mit Silberfolie zu überziehen, und der Erfolg entsprach den Erwartungen.[5]) Damit war die Verwendung der Kleist'schen Flasche in ihrer heutigen Gestalt dem Principe nach gegeben.

---

[1]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 363. — [2]) Fischer, Gesch. d. Phys., Bd. 5, S. 501, 1801 bis 1808. — [3]) Fischer, Gesch. d. Phys., Bd. 5, S. 502, 1801 bis 1808. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 62, 1772. — [5]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 377.

Fünftes Capitel.

Theorien der elektrischen Erscheinungen.

28. Naturgemäss wandte man sich nun der Erklärung der neu entdeckten Erscheinungen zu. Hierbei war vor Allem eine Wahrnehmung Watson's von grosser Bedeutung, dass nämlich bei allen elektrischen Versuchen die Elektricität nicht neu hervorgebracht, sondern nur von einem Körper auf den anderen übertragen werde oder, wie er sich selbst ausdrückt, dass „die gläsernen Röhren und Kugeln die elektrische Kraft nicht in sich selbst enthalten, sondern blos zu den ersten bewegenden und bestimmenden Ursachen dieser Kraft dienen".[1]) Die Nothwendigkeit einer leitenden Verbindung mit der Erde bei Ladung der Flasche, ebenso wie beim Elektrisiren durch Reibung, veranlasste ihn zu der Annahme eines sogenannten „Kreislaufes der elektrischen Materie" oder einer strömenden Bewegung derselben in dem Sinne, dass sie durch diese Operationen aus der Erde in den elektrischen Körper dringe.[2]) Eine entsprechende Erklärung der Entladung[3]) musste er später fallen lassen, als er darauf aufmerksam wurde, dass dabei eine Ableitung zur Erde nicht erforderlich sei.[4]) Zuletzt fand er, dass zwei isolirte Personen, von denen die eine eine Röhre berührt und die andere sie reibt, ohne alle Verbindung mit der Erde elektrisch werden, und er schloss daraus, dass die Elektricität von der einen Person auf die andere übergehe; er unterschied daher eine grössere und geringere Dichte der elek-

[1]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 303. — [2]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 311. — [3]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 348. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elekr., S. 63, 1772.

trischen Materie, welche die Ursache dieser Erscheinungen sein sollte. Von diesen Wahrnehmungen machte er am 21. Januar 1748 der königlichen Gesellschaft in London Mittheilung.[1]) So gelangte er allmählich zu den gleichen Ansichten,[2]) welche kurze Zeit darauf Franklin in einer allgemeinen Theorie zusammenfasste.

29. Benjamin Franklin in Philadelphia, Buchdrucker, General-Postmeister, diplomatischer Agent und schliesslich Präsident der Regierung des Staates Philadelphia, als Physiker ebenso hervorragend wie als Staatsmann und Schriftsteller, am 17. Januar 1706 geboren und 17. April 1790 gestorben (Fig. 11), war der erste, welcher alle einschlägigen Verhältnisse mit Scharfblick erkannte. Die zum Theil schon von Le Monnier gemachte Beobachtung[3]) der elektrischen Anziehung durch die Aussenseite einer geladenen Flasche wurde von ihm dahin erweitert, dass die beiden Oberflächen der Flasche gleich stark entgegengesetzt elektrisch werden[4]) und dass daher durch die Entladung nur ein Ausgleich der beiden Elektricitäten erfolgt;[5]) die Ladung hingegen wird in der Weise bewerkstelligt, dass die eine Fläche durch Mittheilung elektrisch erregt wird und durch die isolirende Glasschicht hindurch auf der anderen Seite den entgegengesetzten elektrischen Zustand hervorruft.[6]) Um diese elektrische Wirkung durch das Glas hindurch zu erklären und zugleich die Nothwendigkeit der leitenden Verbindung der zweiten Seite mit der Erde zu begründen, sah sich Franklin zur Auf-

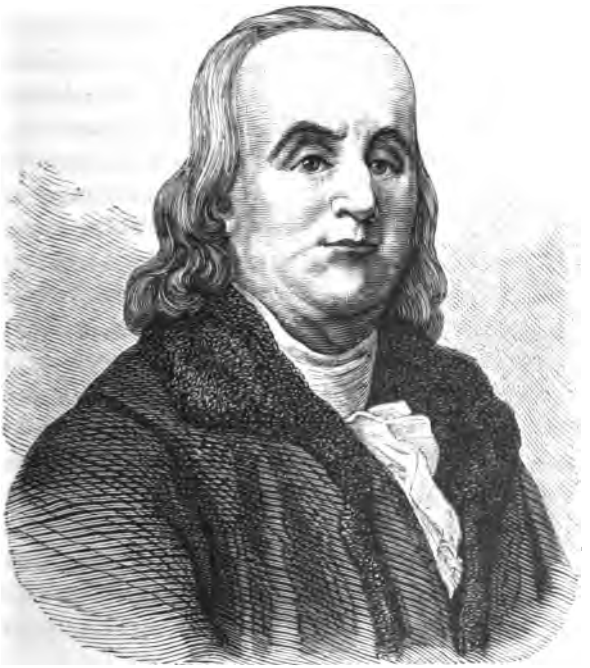
---

[1]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 369. — [2]) Phil. Trans., Bd. 44, S. 739 u. Bd. 45, S. 93, 1748. — [3]) Phil. Trans. abr., Bd. 10, S. 335. — [4]) Franklin, Letters on Electricity, S. 5 u. 21. — [5]) Franklin, Letters, S. 3 u. 8. — [6]) Franklin, Letters, S. 83.

stellung einer Hypothese über das Wesen der Elektricität genöthigt.

30. Im Gegensatze zu Du Fay hielt er die Annahme einer einzigen elektrischen Materie, welche mit der des

Fig. 11.



Benjamin Franklin.

Feuers und Lichtes identisch sein sollte,[1]) für ausreichend. Die Theilchen derselben stossen sich wechselseitig ab, ziehen hingegen die ponderablen an. Sie ist von ausserordentlich

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 497.

feiner Beschaffenheit, durchdringt die Körper nach dem Grade ihrer Leitbarkeit mit wachsender Leichtigkeit und in jedem befindet sich im sogenannten unelektrischen Zustande so viel von derselben, als er seiner Natur nach unter den gegebenen Verhältnissen überhaupt nur anzuziehen und aufzunehmen vermag. Wenn nun durch eine äussere Einwirkung, z. B. durch Reiben, noch mehr Elektricität an seiner Oberfläche angehäuft oder ihm ein Theil der normalen entzogen wird, erscheint er positiv oder negativ elektrisch. [1]) Nichtleitende Körper vermögen nur eine bestimmte Menge des elektrischen Fluidums festzuhalten, so dass durch Mittheilung nur eine Veränderung in der Vertheilung desselben eintreten kann. Wenn somit der einen Belegung der Kleist'schen Flasche oder, was auf dasselbe hinauskommt, der Smeaton'schen Tafel elektrische Materie zugeführt werden soll, muss in Folge der durch das Glas hindurch wirkenden abstossenden Kraft derselben aus der anderen Belegung genau ebensoviel Elektricität durch einen Leitungsdraht entweichen können; ein Ausgleich der elektrischen Vertheilung durch das Glas hindurch kann aber deshalb nicht erfolgen, weil dasselbe für die elektrische Materie selbst undurchdringlich ist; und in analoger Weise findet auch beim Reiben nur ein Uebergang des Fluidums aus dem einen geriebenen Körper in den anderen statt. [2]) Um den Sitz der Elektricität in geladenen Flaschen und Tafeln zu ermitteln, den Franklin bei seinen ersten Versuchen in den metallischen Belegen vermuthet hatte, construirte er eine zerlegbare Tafel und schloss aus den damit gemachten Beobachtungen, dass die elektrische Materie sich auf der Oberfläche des Glases

[1]) Franklin, Letters, S. 15. — [2]) Franklin, Letters, S. 8.

ansammle, was er einer besonderen Eigenthümlichkeit desselben zuschrieb, während die metallische Belegung nur zur Vermittlung des Ueberganges der Elektricität von einer Seite auf die andere dienen sollte.[1]) Da Franklin die meisten seiner Versuche an den belegten Tafeln anstellte, wurden dieselben bald allgemein mit seinem Namen bezeichnet.

31. Franklin's Theorie erregte grosses Aufsehen und fand umsomehr begeisterte Aufnahme, als sie mit einem Schlage eine grosse Anzahl bis dahin ziemlich räthselhafter Erscheinungen aufklärte und unter einen allgemeinen Gesichtspunkt brachte. Hierher gehört vor Allem auch die von Ebenezer Kinnersley in Boston gemachte Wiederentdeckung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten des Glases und Schwefels, welche seit Du Fay allmählich in Vergessenheit gerathen waren,[2]) nun aber von Franklin sofort mit seinem positiven und negativen elektrischen Zustand identificirt wurden.[3]) Durch seine Theorie wurde Franklin ferner zur Erfindung der sogenannten Cascaden-Batterie, der Verbindung mehrerer Flaschen nacheinander, geführt, indem er von der Innenseite jeder Flasche einen Draht zur Aussenseite der nächstfolgenden ableitete und dadurch die grösstmögliche Anhäufung von Energie für eine gegebene Ladung der ersten Flasche bewirkte.[4]) Dass seine Anschauung freilich nicht mehr, als eine Hypothese war, erkannte Franklin auch selbst gerne an[5]) und vor Allem war er überrascht, als er auf die gegenseitige Abstossung zweier negativ elektrischer Körper aufmerksam wurde; er gestand, diese Thatsache nicht

[1]) Franklin, Letters, S. 24. — [2]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 32 u. 121. — [3]) Franklin, Letters, S. 104. — [4]) Franklin, Letters, S. 12 u. 26. — [5]) Franklin, Letters, S. 59 u. 78.

anders erklären zu können [1]), als unter der Voraussetzung, dass die eigentlich unelektrische, d. h. von Elektricität freie Materie sich abstossen müsse.[2]) Von seinen Beobachtungen ist endlich noch der exacte Nachweis erwähnenswerth, dass die wirksame Elektricität nur auf der Oberfläche der Körper verbreitet ist, indem eine elektrisirte silberne Kanne einer in ihr Inneres gesenkten, an einem Faden hängenden Korkkugel keine Elektricität mittheilt.[3]) Weit wichtiger aber und von grösseren praktischen Folgen war es, dass Franklin, durch seinen Freund Thomas Hopkinson veranlasst,[4]) zuerst die elektrische Eigenthümlichkeit der Spitzen näher untersuchte [5]) und eine Erklärung derselben zu geben bestrebt war, von welcher er sich freilich selbst nicht befriedigt fühlte, dass nämlich an spitzen Stellen der Widerstand der Körpermaterie gegen den Durchgang der Elektricität in Folge ihrer geringen Menge zu schwach sei, um das Ein- und Ausströmen derselben zu verhindern.

Seine Versuche und Bemerkungen veröffentlichte Franklin in einer Anzahl von Briefen, welche er in den Jahren 1747 bis 1755 an Peter Collinson richtete und welche unter dem Titel: „New experiments and observations on Electricity, made at Philadelphia in America, in several letters to Mr. Collinson" 1751 in London und 1758 als „Franklin's Briefe von der Elektricität" in deutscher Uebersetzung von Wilke erschienen.

32. Franz Ulrich Theodor Aepinus aus Rostock, 1724 bis 1802, Professor in Petersburg, und Johann Karl Wilke aus Wismar, später Secretär der Stockholmer

[1]) Franklin, Letters, S. 34. — [2]) Franklin, Letters, S. 37. — [3]) Franklin, Letters, S. 129. — [4]) Franklin, Letters, S. 5. — [5]) Franklin, Letters, S. 56; Nollet, Recherches, S. 146.

Akademie der Wissenschaften, 1732 bis 1796, waren es hauptsächlich, welche dem Franklin'schen Systeme durch eine geordnete und übersichtliche Darstellung grosses Ansehen und eine weite Verbreitung verschafften.[1]) Aepinus machte im Jahre 1759 auch den ersten Versuch, auf Grund der Franklin'schen Anschauungen die Lehre von der Elektricität mathematisch zu behandeln. Entsprechend dem damaligen Stande der Wissenschaft wagte er es zwar noch nicht, für das Gesetz der anziehenden und abstossenden elektrischen Kräfte eine genau bestimmte mathematische Formel anzunehmen, sondern begnügte sich mit der allgemeinen Voraussetzung, dass die elektrische Wirkung mit der wachsenden gegenseitigen Entfernung der Körperelemente schwächer werde. Gleichwohl waren seine Bemühungen in hohem Grade fruchtbar, nicht nur insoweit als er aus seiner Theorie die meisten Fälle der Erfahrung herzuleiten vermochte, sondern vor Allem indem ihn die abstracte und präcise mathematische Darstellung eine grosse Menge von bisher nur sehr unbestimmt erkannten Thatsachen bis in die kleinsten Umstände hin mit Schärfe erfassen und zur gehörigen Geltung bringen liess. Aepinus wandte seine Methode auch auf die Theorie der Kleist'schen Flasche an und wurde dadurch in Gemeinschaft mit Wilke zur Construction der sogenannten Lufttafel veranlasst, zweier mit Blech überzogenen Bretter, zwischen denen an Stelle des Glases eine Luftschicht sich befand. Durch diesen Versuch wurde nachgewiesen, dass die anscheinende Undurchdringlichkeit für die Elektricität durchaus nicht, wie Franklin

[1]) Aepinus, Tentamen theoriae electr. et magnet., 1759; Wilke, De electricitatibus contrariis, 1757 und Vorrede zur deutschen Uebers. von Franklin's Briefen v. d. Elektr., 1758.

geglaubt hatte, eine besondere Eigenthümlichkeit des Glases, sondern allen nichtleitenden Körpern gemein sei. Da dieselben aber andererseits durch Mittheilung doch bis zu einem gewissen Grade elektrisch werden können, ergiebt sich der Unterschied zwischen den leitenden und isolirenden Körpern überhaupt nur als ein quantitativer; es leiten alle, aber mit verschiedener Geschwindigkeit,[1]) eine Behauptung, welche durch die Beobachtungen Beccaria's ergänzt wurde, dass sich im gut leitenden Wasser Funkenentladungen hervorbringen lassen,[2]) und dass sogar die Metalle nicht als vollkommene Leiter der Elektricität betrachtet werden können.[3])

33. In demselben Jahre, in welchem Aepinus diese Untersuchungen veröffentlichte, wurde durch den Esquire Robert Symmer in England, seit 1753 Mitglied der königlichen Gesellschaft und 1763 gestorben, die alte Du Fay'sche Theorie von zwei Elektricitäten der Franklin'schen Hypothese von neuem gegenübergestellt. Die Ursache, welche ihn hierzu veranlasste, war die Beobachtung, dass seine Seidenstrümpfe, von denen er stets zwei Paare von verschiedener Farbe übereinander trug, sich beim Ausziehen stark elektrisch zeigten, und zwar entgegengesetzt. Er stellte über diese Erscheinung eine Reihe von interessanten Versuchen an[4]) und, obwohl sich dieselben, wie Johann Franz Cigna in Turin[5]) später zeigte, anstandslos auch nach der Franklin'schen Anschauung erklären lassen, fühlte er sich doch zu der Annahme bewogen, dass zwei verschiedene elektrische

[1]) Aepinus, Tentamen, S. 82, 1759. — [2]) Beccaria, Elettricismo artificiale e naturale, S. 113, 1753. — [3]) Beccaria, Elettr. artif. e nat., S. 51, 1753. — [4]) Phil. Trans., Bd. 51, Th. 1, S. 340, 1760. — [5]) Miscellanea societatis Turinensis, S. 31, 1765.

Flüssigkeiten dabei thätig seien, wobei er sich vor Allem durch den Grundsatz leiten liess, dass jeder Wirkung in der Natur eine gleiche Gegenwirkung entspreche.[1]) Diese beiden einander entgegengesetzt wirkenden Fluida sind von einander nicht unabhängig, wie Du Fay gemeint hatte, sondern beständig zugleich vorhanden; in einem sogenannten unelektrischen Körper befinden sie sich im Gleichgewicht, durch äussere Einwirkung, z. B. durch Reiben, werden sie getrennt und äussern dann die bekannten Kräfte der Anziehung bei verschiedenartigen, der Abstossung bei gleichnamigen Massen aufeinander. Als Stütze für seine Theorie wusste Symmer blos eine Thatsache, welche von Franklin entdeckt worden war[2]) und von ihm in mehrfacher Weise variirt wurde,[3]) anzuführen, dass nämlich beim Durchschlagen des elektrischen Funkens durch ein Buch Papier oder Pappe auf beiden Seiten ein Wulst nach aussen entsteht und dass in dem Falle, wo ein oder mehrere Zinnblätter im Buche liegen, die Durchbohrungen von beiden Seiten her das Zinn an verschiedenen Stellen treffen. Symmer schloss daraus, analog der Nollet'schen Anschauung, dass jeder Funke aus zwei entgegengerichteten elektrischen Strömen bestehe, durch welche das Gleichgewicht der elektrischen Vertheilung hergestellt wird, und konnte aus dieser Voraussetzung die Erscheinungen an einer Kleist'schen Flasche mit Leichtigkeit ableiten.

34. Symmer's Theorie fand anfangs gleichwohl keinen sonderlichen Beifall.[4]) Cigna, welcher Symmer's

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 51, Th. 1, S. 389, 1760. — [2]) Franklin, Letters, S. 49 u. 124. — [3]) Phil. Trans., Bd. 51, Th. 1, S. 377, 1760. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 316; Fischer, Gesch. d. Phys., Bd. 5, S. 898.

Versuche unter den verschiedensten Abänderungen wiederholte, gab wohl zu,[1]) dass durch dieselbe alle bis dahin bekannten Thatsachen und in erster Linie die Ladung und Entladung von Glastafeln und Flaschen besonders deutlich und zufriedenstellend aufgeklärt würden; er bezeichnete es dem entgegen offen als Mangel der Franklin'schen Auffassung, dass sie die gegenseitige Anziehung beider Elektricitäten und das Ausströmen derselben aus spitzen Körpern nicht befriedigend begründen könne; dennoch entschied er sich für die letztere, weil sie ihm als die einfachere erschien,[2]) und diese Ansicht war ziemlich lange die allgemein verbreitete, so dass der berühmte Naturforscher Josef Priestley, Prediger in Leeds, geboren 13. März 1733, gestorben 6. Februar 1804, sich noch 1767 veranlasst fühlte, in seiner „Geschichte der Elektricität" die Aufmerksamkeit der Physiker auf die Symmer'sche sogenannte „dualistische Theorie" hinzulenken.[3]) Wilke gehörte auch hier wieder zu den ersten, welche den Werth der neuen Lehre erkannten. Er fand zwar Symmer's Beweisführung keineswegs entscheidend, neigte sich aber aus den von Cigna betonten Bedenken schon seit den Jahren 1762 und 1763[4]) immer mehr der Symmer'schen Anschauung zu, und zum grossen Theile hat durch seinen massgebenden Einfluss die Hypothese zweier verschiedener elektrischer Fluida allmählich fast allgemein Geltung erlangt.

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 315. — [2]) Miscellanea soc. Turin., S. 31, 1765. — [3]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 316. — [4]) Fischer, Gesch. d. Phys., Bd. 5, S. 900; Abh. d. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 24, 1762 u. Bd. 39, S. 63, 1777.

Sechstes Capitel.

Untersuchungen über die Influenz-Elektricität.

35. Durch Symmer's Theorie wurde es erst ermöglicht, die schon von Guericke und Gray beobachteten Erscheinungen der Influenz-Elektricität in genügender Weise aufzuhellen. Winkler hatte dieselben der damals allgemein herrschenden Ansicht entsprechend [1]) auf einen elektrischen Dunstkreis oder eine Atmosphäre, welche sich beim Reiben eines Körpers durch eine Art Verdunstung elektrischer Materie um denselben bildet, zurückführen wollen. [2]) John Canton, Leiter einer Privatschule, 1718 bis 1772, gab durch die Entdeckung einer grossen Anzahl hierhergehöriger und von Priestley [3]) geradezu als zauberhaft bezeichneter Erscheinungen den Anstoss zu einer gründlichen Erörterung und völligen Umgestaltung dieser Erklärung. Er wies vor Allem gegen Ende des Jahres 1753 nach, dass die Art der erregten Elektricität dem geriebenen Körper nicht eigenthümlich, sondern von dessen Oberfläche und der Beschaffenheit des Reibzeuges abhängig sei, und zeigte, dass bei Annäherung eines isolirten Leiters an einen elektrischen Körper das zugewendete Ende des ersteren stets die entgegengesetzte Elektricität erhalte. [4]) Noch klarer ging dies aus den Untersuchungen Wilke's hervor, [5]) welcher die einzelnen Umstände der Erscheinung schärfer erfasste und besonders bemerkte, dass diese Influenz-Elektricität

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 119; Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 1, S. 299, 1797. — [2]) Winkler, Gedanken v. d. Eigenschaften d. Elektr., 1744. — [3]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 154. — [4]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 1, S. 350, 1754. — [5]) Wilke, De electr. contrar., S. 77, 1757.

nur in der Nähe des elektrischen Körpers auftrete und mit der Entfernung von demselben wieder schwinde.[1]) Aepinus erhielt auch für die sogenannten Nichtleiter, wie Glas und Schwefel, die gleichen Resultate[2]) und wurde durch eingehende Berücksichtigung aller Verhältnisse schliesslich dahin gebracht, das Dasein der sogenannten elektrischen Dunstkreise überhaupt ganz in Abrede zu stellen.[3]) Er erklärte die hierauf bezüglichen Erscheinungen für Wirkungen, welche die im elektrisirten Körper vorhandene Elektricität auf eine gewisse Entfernung hin ausübt,[4]) die er als den elektrischen Wirkungskreis bezeichnete, wobei er die Möglichkeit offen liess, dass dieselben durch die Elektrisirung der umgebenden Luft vermittelt würden. Diese letzte Annahme war etwas früher auch schon von Beccaria ausgesprochen worden,[5]) indem er sich auf die Behauptungen stützte, dass sich der elektrische Zustand eines Körpers allmählich der ihn umgebenden Luft mittheile[6]) und dass in einem völlig luftleeren Raume überhaupt keine Anzeichen von Elektricität zu bemerken seien;[7]) von Faraday wurde 1839 auf Grund ähnlicher Anschauungen eine vollständige Theorie der elektrischen Erscheinungen ausgebildet.[8])

36. Diese Entdeckungen auf dem Gebiete der Influenz-Elektricität gaben den Anstoss zu erneuten Unter-

[1]) Wilke, De electr. contrar., S. 73, 1757. — [2]) Aepinus, Tentamen, S. 192, 1759. — [3]) Aepinus, Tentamen, S. 257, 1759. — [4]) Aepinus, Tentamen, S. 257, 1759; Cavallo, Vollst. Abh. v. d. Elektr., Th. 1, S. 301, 1797. — [5]) Beccaria, Elettr. art. e nat. S. 54, 1753; Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 164. — [6]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 87, 1767. — [7]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 48, 1767; Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 5; Cavallo, Abh. v. d. Elektr., S. 13, 1797. — [8]) Faraday, Exper. research., §. 1164, 1669 und 1670, Phil. Trans., 1839.

suchungen über die Ladungserscheinungen von beiderseits belegten Glastafeln. Wilke studirte 1762[1]) nach Franklin's Vorgang die Anordnung der Elektricität an Platten mit abnehmbaren Belegungen und suchte auf Grund der Franklin'schen Hypothese eine Theorie derselben zu liefern, begegnete jedoch hierbei manchen unerwarteten Schwierigkeiten. Pater Giovanni Battista Beccaria, Professor der Physik in Turin, 1716 bis 1781, beschäftigte sich 1767 mit der gleichen Aufgabe und wollte die Erklärung in einer besonderen Eigenschaft der geladenen Isolatoren finden, welche er als „die sich selbst wiederherstellende Elektricität" (electricitas vindex) bezeichnete[2]) und welche die Ursache dafür sein sollte, dass zwei gleich stark, aber entgegengesetzt elektrisirte und durch eine isolirende Schicht von einander getrennte Körper bei sehr grosser Annäherung aneinander nach aussen hin keine elektrische Wirkung zeigen, nach der Trennung aber sofort wieder elektrisch erscheinen.

37. Diese Ansicht wurde 1771 von Alessandro Volta, geboren 18. Februar 1745 zu Como, gestorben 5. April 1827 als Director der philosophischen Facultät zu Padua (Fig. 12), lebhaft angegriffen, da er bemerkte, dass in den von Beccaria angeführten Fällen die beiden Körper ihre Elektricität nicht thatsächlich verlieren, sondern sich nur während der Dauer ihrer Vereinigung in ihren Wirkungen nach aussen hin aufheben. Er wies dies an einer Harzplatte nach, deren Ladung Beccaria zuerst geglückt war[3]) und welche er mit abnehmbaren Belegungen versah, und da er beobachtete, dass die elektrische Wirk-

[1]) Abh. d. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 24, S. 271, 1762. — [2]) Beccaria, Elettr. artifiziale, Th. 2, Absch. 6, 1772; De electr. vindice, 1767; Exper. atque observ, 1769. — [3]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 64, 1767.

39. Die Erfindung des Elektrophors rief eine grosse Anzahl von Nachahmungen und Abänderungen aller Art hervor, so besonders den von Joseph Weber construirten Luft-Elektrophor.[1]) Unter den mit ihm angestellten Untersuchungen ist namentlich die Entdeckung des Göttinger Professors Georg Christoph Lichtenberg, 1742 bis 1799, zu erwähnen,[2]) dass pulverförmige Körper beim Durchsieben elektrisch werden und sich auf dem Kuchen eines elektrisirten Elektrophors zu eigenthümlichen Figuren anordnen, deren Wesen bis jetzt noch nicht vollständig aufgehellt ist.

Unvergleichlich wichtiger war eine Beobachtung, welche von Seiten Volta's erfolgte. Er fand nämlich, dass ein Elektrophor, dessen Kuchen bis zu einem gewissen Grade leitend ist, in hohem Masse geringe Elektricitätsmengen zu verstärken vermag.[3]) Um den Apparat zu diesem Zwecke noch geeigneter zu machen, brachte er einige Abänderungen an demselben an und nannte ihn in dieser neuen Gestalt elektrischen Condensator; im Wesentlichen bestand derselbe aus einer Metallplatte und einer halbleitenden Scheibe, zu welcher am besten Hartgummi verwendet wird; diese letztere vertritt dabei zugleich die Stelle des Kuchens und der sogenannten Schüssel oder Form des Elektrophors. Jetzt werden gewöhnlich beide Platten aus Metall angefertigt und nach dem Vorgange Bennet's[4]) durch eine nicht leitende Schicht von dünnem Schellack-Firniss von einander getrennt.

---

[1]) J. Weber, Abh. v. d. Luftelektrophor, 2. Aufl., 1779. — [2]) Lichtenberg, De nova methodo naturam ac motum fluidi electr. invest., 1777 u. 1778. — [3]) Phil. Trans., Bd. 72, Th. 1, S. 237, 1782. — [4]) Phil. Trans., Bd. 77, S. 288, 1787.

Siebentes Capitel.

Die Entwicklung der Influenzmaschinen.

40. Das Verlangen, beide Arten der Elektricität gleichzeitig nebeneinander zu haben, veranlasste Lichtenberg 1778 zur Erfindung des sogenannten Doppel-Elektrophors.[1]) Es ist dies nichts Anderes als zwei gewöhnliche Elektrophorkuchen, von denen der eine durch Reiben elektrisirt wird, während der andere unelektrisch ist; wenn man einen Metalldeckel nacheinander auf beide Kuchen setzt, erhält er durch die Influenz des ersteren die entgegengesetzte Elektricität und theilt dieselbe dem zweiten Kuchen mit. Lichtenberg und ebenso Volta bemerkten auch, dass man diese Erscheinungen zur Vermehrung der Elektricitätsmenge benützen kann, indem man durch den so elektrisirten Kuchen den Deckel wieder entgegengesetzt elektrisirt und dessen nunmehrige Elektricität durch Mittheilung an den gleich elektrisirten ersten Kuchen überträgt; so lassen sich abwechselnd beide Kuchen immer stärker elektrisch laden. Abraham Bennet, 1750 bis 1799, Prediger in Bentley bei Ashborne in England, griff diese Beobachtung auf und verwendete sie 1787 zur Construction eines sogenannten Elektricitäts-Verdopplers oder Duplicators, indem er an Stelle des Elektrophordeckels zu den beiden überfirnissten Platten, welche als Kuchen betrachtet werden können, noch eine dritte, beiderseits überfirnisste fügte, welche er seitlich am Rande mit einem isolirenden Handgriff versah.[2]) Diese den Deckel

[1]) Lichtenberg, De nova methodo, 1778. — [2]) Phil. Trans., Bd. 77, S. 288, 1787.

vertretende bewegliche Platte wird wieder durch die Influenz des einen Kuchens entgegengesetzt elektrisirt; indem man aber dann beim Auflegen derselben auf den zweiten Kuchen diesen ableitend mit der Erde verbindet, wird er ebenfalls durch Influenz elektrisch und besitzt somit die gleichnamige Elektricität mit dem ersten Kuchen; man kann nun beide Kuchen miteinander verbinden und den einen mit der beweglichen Platte berühren, dadurch wird diese durch Influenz beinahe doppelt so stark elektrisch als früher und durch Wiederholung des Verfahrens lässt sich eine beträchtliche Vergrösserung der elektrischen Ladung erzielen.

41. Bei Bennet's Anordnung sind die Scheiben in horizontaler Lage und kommen in directe Berührung miteinander. Dadurch wird die Influenzwirkung oft gestört und der Apparat ist nicht zuverlässig. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, stellte Tiberius Cavallo[1]) in London, 1749 bis 1809, die Platten auf Glasfüsse vertical und parallel nebeneinander, so dass sie nur bis zu einer gewissen Entfernung einander genähert werden können; dafür liess er die jetzt durch eine dünne Luftschicht ersetzte Firnissbelegung als überflüssig weg. Allein nunmehr zeigte sich die Vorrichtung elektrisch, auch ohne dass ihr Elektricität mitgetheilt worden wäre, und Cavallo schrieb dies dem Vorhandensein eines Rückstandes von den früheren Versuchen her zu.[2]) Er suchte diesen Einfluss daher in einem neuen Instrumente, dem sogenannten Multiplicator oder Vervielfältiger der Elektricität, möglichst

---

[1]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 167, 1797. — [2]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 170, 1797; Phil. Trans., Bd. 78, Th. 1, S. 1, 1788.

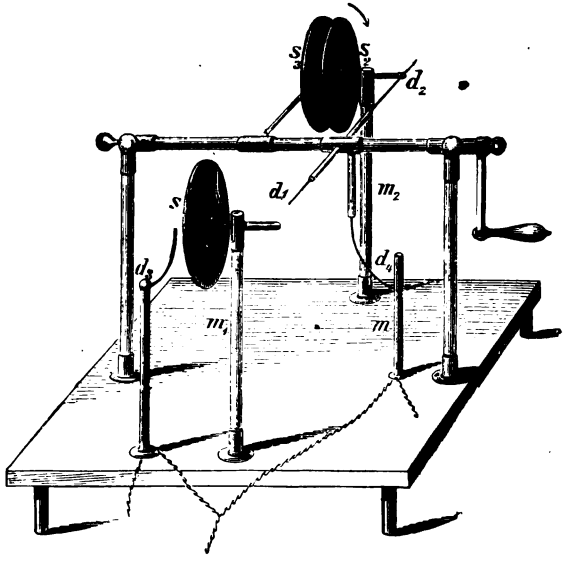
herabzumindern,[1]) indem er eine vierte, unisolirte Platte hinzufügte, welche, parallel neben eine der übrigen gestellt, dieselbe zu einem Ansammlungsapparate macht, auf welchen, mit Hilfe der beweglichen Platte, mehrmals dieselbe Elektricitätsmenge von der ursprünglich geladenen übertragen werden kann; da bei dieser Einrichtung die Ladung dieser letzteren durchaus nicht verstärkt wird, sondern im Gegentheil sich immer mehr verringert, wird der Einfluss des Rückstandes bei neuen Versuchen ein verschwindend kleiner sein. Cavallo erleichterte zugleich die Operation der Uebertragung, indem er die vermittelnde Platte durch einen drehbaren Hebel beweglich machte und durch eine geeignete Anordnung von Drähten die erforderlichen Verbindungen und Entladungen mechanisch vor sich gehen liess, so dass durch ein wiederholtes blosses Hin- und Herdrehen des Hebels zwischen beiden festen Platten beträchtliche Elektricitätsmengen angehäuft werden können.

42. Durch William Nicholson, einen Beamten der ostindischen Compagnie und später Civilingenieur, 1753 bis 1815, wurde Cavallo's Gedanke, die rotirende Bewegung zur mechanischen Verstärkung elektrischer Ladungen zu verwenden, weiter ausgebildet und dadurch zu einer neuen Art von Elektrisirmaschinen der Grund gelegt, am 5. Juni 1788.[2]) Sein „Revolving doubler" (Fig. 13) besteht ähnlich wie Cavallo's zuerst beschriebener Duplicator aus drei isolirten verticalen Platten, von welchen zwei fest sind, während die dritte durch fortgesetzte Drehung um eine Axe abwechselnd beiden

[1]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 180, 1797; Phil. Trans., Bd. 78, Th. 2, S. 255, 1788. — [2]) Phil. Trans., Bd. 78, Th. 2, 1788.

gegenüber zu stehen kommt. Passende Drahtcombinationen vollziehen auch hier auf mechanischem Wege die nothwendigen Verbindungen, so dass durch mehrfache Umdrehungen rasch elektrische Wirkungen von ziemlicher Stärke erhalten werden können. Leider macht sich aber

Fig. 13.



Maschine von Nicholson.

auch bei diesem Apparate der Einfluss von Ueberresten früherer elektrischer Ladungen störend bemerkbar. Nicholson benützte daher eine Bemerkung Bennet's, welche ihm dieser schon im Jahre 1787 mitgetheilt hatte,[1]) und construirte den sogenannten kreiselnden Collector. Es sind dies zwei kreisförmige horizontale

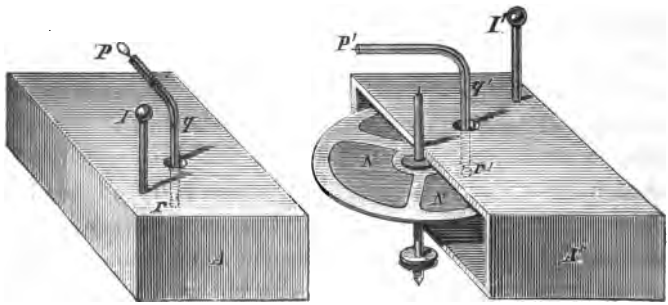
[1]) Nicholson, Journal of natural philosophy, 1789.

Glasscheiben, deren einander zugekehrte Seiten mit je zwei halbkreisförmigen Stanniolausschnitten belegt sind und von denen die untere fest ist, die obere um ihre gemeinschaftliche Axe gedreht werden kann. Beide Platten tragen ferner an den entgegengesetzten Enden eines Durchmessers zwei Metallhaken, welche bei der Rotation einander streifen. Mit dem einen Haken der festen Scheibe wird ein elektrischer Körper leitend verbunden; der andere Haken und die beiden Haken der zweiten Scheibe stehen mit den ihnen zunächst liegenden Stanniolausschnitten in Verbindung; der vierte Stanniolstreifen ist zur Erde abgeleitet. Es ist dann leicht zu erkennen, dass durch die Drehung beständig Elektricität von dem elektrischen Körper durch Vermittlung der oberen Scheibe auf den mit der Belegung verbundenen Haken der unteren Scheibe übertragen wird; es lassen sich auf diese Weise beträchtliche Elektricitätsmengen ansammeln und das Instrument hat die gleiche Wirkung wie ein Condensator von ziemlich grosser Oberfläche. Selbstverständlich sind auf der beweglichen Scheibe blos zu dem Zwecke zwei Belegungen, um die Operation während einer Drehung zu verdoppeln; wenn man sich eine derselben wegdenkt, ist die Entstehung dieses Apparates aus dem Duplicator Nicholson's ohne besondere Mühe ersichtlich.

43. Die befriedigenden Resultate, welche man mit den neu construirten Maschinen erhielt und mehr noch die ausserordentlichen Erwartungen, welche an deren weitere Entwicklung geknüpft wurden, riefen eifrige Bemühungen der Physiker hervor, durch Verbesserung der Einrichtung eine Erhöhung der Wirksamkeit und Zuverlässigkeit derselben zu erzielen. Derartige Vorschläge wurden namentlich von dem Pfarrer Gottlieb Christian Bohnen-

berger, 1732 bis 1807, in grosser Anzahl gemacht.[1]) Doch ehe noch wesentliche Fortschritte in dieser Richtung zu verzeichnen waren, wurde die allgemeine Aufmerksamkeit durch eine neue Gruppe elektrischer Erscheinungen in einem Masse gefesselt, dass diese Untersuchungen beinahe ganz in Vergessenheit geriethen, und mehr als ein Menschenalter verging, ehe sie an der Stelle, wo sie ihrerzeit abgebrochen worden waren, von neuem wieder aufgenommen wurden.

Fig. 14.



Maschine von Belli.

Der Italiener Belli war es, welcher 1831 zuerst auf diesem Wege die Entwicklung grösserer Elektricitätsmengen anstrebte. Sein Elektricitäts-Generator (Fig. 14)[2]) hat in mancher Beziehung mit Nicholson's kreiselndem Collector grosse Aehnlichkeit. Es zeigt sich jedoch hier die bedeutende Veränderung, dass nicht blos mitgetheilte Elektricität in einem kleinen Raume angehäuft wird, sondern dass die

[1]) Bohnenberger, Beschreibung unterschiedlicher Elektr.-Verdoppler, 1798. — [2]) Annali delle Scienze del regno Lomb. Venet., S. 11, 1831.

elektrische Ladung im Apparate selbst durch Influenz erzeugt wird; es ist hier die Wirkung des Elektrophors continuirlich gemacht und in gewissem Sinne kann man Belli's Apparat daher als die erste wirkliche Influenzmaschine bezeichnen. Es ist bei derselben die feste Platte Nicholson's zu einem ganzen, aus zwei Hälften A, A' bestehenden Gehäuse umgeformt, welches doppelte, durch eine Harzschicht getrennte Wände aus Eisenblech besitzt und die rotirende Glasscheibe rings auf allen Seiten umgibt. Die letztere ist auf der oberen Fläche mit drei Stanniolausschnitten N belegt, von welchen die durch Influenz erregte Elektricität mittelst zweier einander diametral gegenüberstehender auf ihnen schleifender Metallbürsten r, r' durch die obere Wandung des Gefässes nach aussen hin fortgeführt werden kann. Zwei andere Metalldrähte J, J' gehen ebenso isolirt von der inneren Wand des Kastens nach aussen. Indem man nun durch einen von diesen die eine Hälfte der Eisenwand elektrisch ladet, den anderen aber mit dem Zuleitungsdrahte der einen Bürste verbindet und die zweite Bürste zur Erde ableitet, wird die durch Influenz in den Belegungen erregte entgegengesetzte Elektricität bei Rotation der Scheibe in die andere Hälfte der Kastenwand übergeführt und diese wird immer stärker geladen, je länger gedreht wird. Wenn endlich die Ladung in dieser zweiten Hälfte die in der ersten vorhandene ursprüngliche schon bedeutend übertrifft, verbindet man den Leitungsdraht der einen Bürste mit der ersten Hälfte und wiederholt diesen Wechsel der Verbindungen noch mehrmals, bis eine genügende elektrische Anhäufung erzielt worden ist. In dieser Weise können beide Elektricitäten allmählich auf ein gewisses Maximum gebracht und jede für sich allein benützt

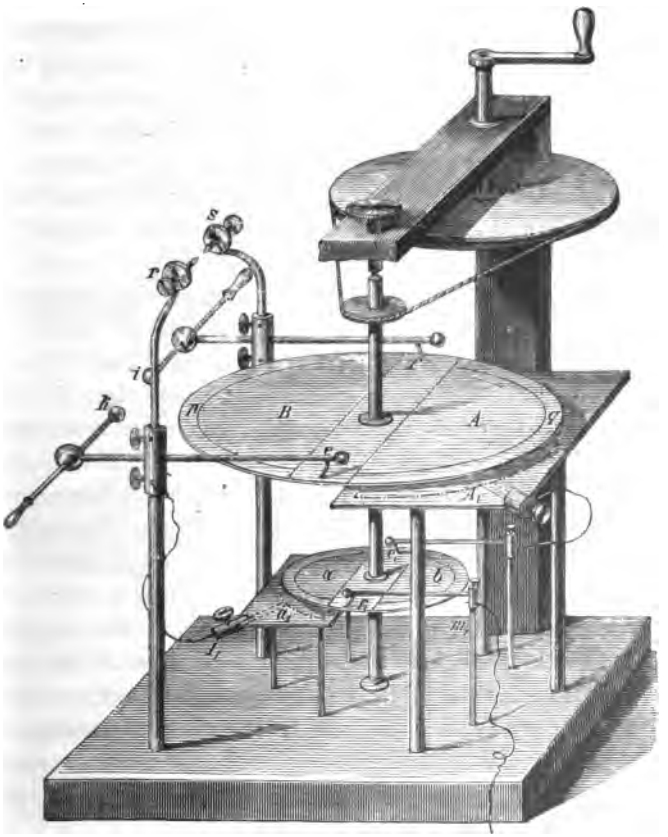
werden, indem man die andere zur Erde ableitet. So war durch Belli's Apparat schon eine fortdauernde Quelle der Elektricität gegeben, doch hatte diese Vorrichtung noch manche Unzukömmlichkeiten, wohin in erster Linie die beständige Aenderung der leitenden Verbindung gehört. Es fand daher diese Anregung zu einer neuen Art von Elektrisirmaschinen wenig Beachtung und erst im Jahre 1865 wurde ziemlich gleichzeitig von zwei verschiedenen Gesichtspunkten aus die Construction von kräftig wirkenden Influenzmaschinen in Angriff genommen, welche, einmal erregt, ihre elektrische Ladung selbstthätig erhöhen und ihrem Principe nach auf wesentlich anderer Grundlage als die früher betrachteten Reibungsmaschinen beruhen.

44. Der erste Vorschlag zu einer bedeutenden Verbesserung der hierher gehörigen Apparate ging im Jahre 1865 von Töpler in Dorpat, später Professor am Polytechnikum in Dresden, aus.[1]) Sein Apparat (Fig. 15) lässt sich in der äusseren Form am besten mit dem kreiselnden Collector Nicholson's vergleichen. Die horizontal bewegliche Scheibe ist ebenfalls auf der unteren Seite mit zwei halbkreisförmigen Stanniolplatten belegt; zur Erregung derselben oder als „Inductor" dient eine unter dem einen Stanniolsegment befindliche isolirte elektrische Metallplatte A_1, so dass also auch hier, ähnlich wie bei Belli, die angehäufte Elektricität durch Influenzwirkung erzeugt wird. Der wesentliche Fortschritt besteht jedoch in der Einrichtung des Ansammlungsapparates. Zwei Metallfedern e, f schleifen auf Stanniolstreifen p, q, welche auf der oberen Fläche der Scheibe angebracht sind und

[1]) Pogg. Ann, Bd. 125, S. 469, 1865.

jeder mit der darunter befindlichen Belegung in Verbindung stehen; von ihnen wird die Elektricität durch

Fig. 15.



Maschine von Töpler.

Metalldrähte zu zwei gegeneinander verschiebbaren kugelförmigen Conductoren, den sogenannten Elektroden *i*, *k*,

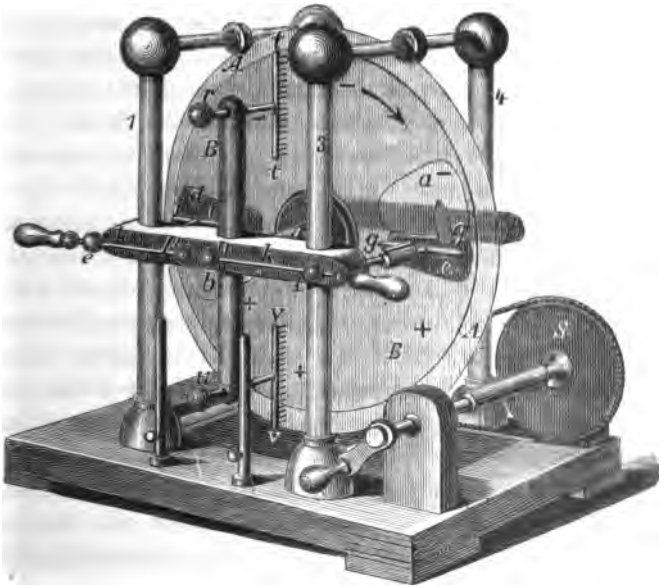
hingeleitet. Durch Influenz wird nun die eine Hälfte der Scheibe elektrisch erregt und durch Vermittlung dieser Metallknöpfe macht sie auch die andere Hälfte, ebenfalls durch Vertheilung, entgegengesetzt elektrisch; bei Drehung der Scheibe kommt jede Hälfte mit der gleichnamig elektrisirten anderen Elektrode in Verbindung und giebt an sie den grössten Theil ihrer Ladung ab, zugleich wird sie aber durch die vertheilende Wirkung des Inductors entgegengesetzt elektrisch; so ändert jede Belegung nach einer halben Umdrehung ihr Zeichen. Nach einigen Rotationen zeigen die Conductoren schon beträchtliche Ladung.

Beim Ruhen der Scheibe verliert der Inductor sehr rasch seine Elektricitätsmenge, so dass die Maschine unwirksam wird. Um dies zu vermeiden, hat Töpler zwei derartige Apparate miteinander vereinigt, in der Weise, dass die Drehungsaxe für beide dieselbe ist und die inducirende Platte eines jeden mit einem von den Conductoren der anderen Maschine leitend verbunden ist, so dass ihr hierdurch immer neue Ladungen zugeführt werden; der zweite Conductor des oberen Apparates bleibt isolirt, der des unteren, etwas kleineren, wird zur Erde abgeleitet. Durch diese Einrichtung wird zugleich die Leistungsfähigkeit der Maschine beträchtlich gehoben und eine besondere Mittheilung der Elektricität an einen der Inductoren vollkommen entbehrlich gemacht, da Töpler nachwies, dass eine solche Maschine, wahrscheinlich in Folge der Reibung der Schleiffedern, sich selbstthätig elektrisch erregt.

45. Auf einem wesentlich anderen Grundsatze beruhen die unabhängig von Töpler beinahe zu gleicher Zeit von A. W. Holtz im April 1865 construirten Maschinen

(Fig 16).[1]) Während in Töpler's Apparat die elektrische Spannung der Conductoren von der Wirkung eines festen Inductors auf die Belegungen herrührt, wird bei der Einrichtung von Holtz die an einer Stelle der Scheibe

Fig. 16.



Maschine erster Art von Holtz.

erregte Elektricität auf eine andere Stelle derselben übertragen und durch die Wechselwirkung zwischen beiden gleichzeitig die Menge der erregenden und der erregten Elektricität vermehrt. Es ist dies Princip im Grunde das schon von Lichtenberg und Volta bei der Methode des

[1]) Pogg. Ann., Bd. 126, S. 157, 1865.

sogenannten Doppel-Elektrophors angewandte, nur freilich in völlig veränderter Form. Im Wesentlichen lässt sich die Maschine auch als eine Vereinigung zweier Elektrophore mit gemeinschaftlichem rotirenden Deckel betrachten. Die beiden Kuchen werden durch breite Papierbelegungen auf einer ruhenden gefirnissten Glasscheibe vertreten, welche einander diametral gegenüberstehen und je ein Sechstel der Kreisfläche bedecken. Ihre zugespitzten Enden ragen im Sinne einer bestimmten Drehungsrichtung durch zwei Oeffnungen oder schmale Löcher der Scheibe auf der anderen Seite derselben heraus. Hier befinden sich auch den Oeffnungen gerade gegenüber zwei metallische Saugkämme, welche in kugelförmige Elektroden auslaufen. Die etwas kleinere bewegliche Scheibe, welche den Deckel der Elektrophore darstellt, rotirt zwischen diesen Saugarmen und der Standscheibe, entgegengesetzt der Richtung der Papierspitzen. Wird nun einer der Inductoren durch Mittheilung elektrisch gemacht, während die Elektroden einander berühren, so erhalten diese durch Influenz entgegengesetzte elektrische Ladungen und lassen dieselben durch die Spitzen auf die ihnen zunächst liegenden Theile der rotirenden Scheibe strömen. Die Scheibe wird dadurch in zwei Hälften zerlegt, welche entgegengesetzt elektrisirt sind, und bei ihrer Drehung werden in den Inductoren Vertheilungen hervorgerufen, welche, wie leicht ersichtlich, eine beständige Verstärkung der Wirkung zur Folge haben. Wie bei der Töpler'schen Maschine, ändert auch hier eine jede Hälfte nach einer halben Umdrehung das Zeichen der Ladung. Durch Kleist'sche Flaschen, deren äussere Belegungen miteinander und deren innere Flächen mit den Elektroden verbunden sind, oder auch durch eine eigene von Holtz ersonnene Condensationsvorrichtung

kann die elektrische Spannung noch beträchtlich erhöht werden.

Ist die Maschine schon im Gange und die Conductoren werden von einander getrennt, so erfolgt der Ausgleich der Elektricitäten zwischen ihnen durch lebhafte Funken; bei zu grosser Entfernung hört die Wirkung auf oder es tritt sogar eine Umkehrung der Polarität ein, indem alle Theile der Maschine, einschliesslich der Belegungen, das Zeichen ihres elektrischen Zustandes ändern. Die Ursache dieser Erscheinung ist in der zu kräftigen Ladung der Elektroden zu suchen, welche den Wechsel der Elektricität auf den Scheibenhälften bei der Umdrehung hindern, so dass die Inductoren entgegengesetzt elektrisirt werden. Zur Vermeidung dieses Uebelstandes wurden von Holtz gegenüber den breiten Enden der Inductoren zwei weitere, die sogenannten neutralen Saugkämme angebracht, welche auf Poggendorff's Vorschlag[1]) durch den sogenannten diametralen Conductor, einen um die Axe der Scheibe drehbaren Messingstab, verbunden sind; durch diese Vorrichtung können die überschüssigen Mengen der Elektricität zum Ausgleich gelangen.

46. Die Erfindung der Influenzmaschinen gab zu einer grossen Anzahl von theoretischen Untersuchungen und praktischen Abänderungsvorschlägen Anlass. Vor Allem haben sich um die Theorie und die weitere Ausbildung der Holtz'schen Apparate die Berliner Professoren Johann Christian Poggendorff (1796 bis 1877) und Peter Theophil Riess (1805 bis 1883) in hohem Grade verdient gemacht.[2]) Poggendorff studirte besonders eingehend

[1]) Monatsberichte d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, Febr. 1867. — [2]) Zahlreiche Abh. in den Berliner Monatsber. von 1867 bis 1876 und in Pogg. Ann., Bd. 131 bis 160.

die Einrichtung und den Gebrauch der Maschinen; er stellte die günstigsten Bedingungen für ihre Wirksamkeit fest und zeigte unter Anderem, dass man verschiedene Erregungsmethoden anwenden könne. Riess beschäftigte sich hauptsächlich mit theoretischen Ausführungen; seine Erklärungsversuche wurden aber später als irrig erwiesen und durch Betrachtungen von Righi,[1]) Mascart[2]) und G. Wiedemann[3]) verdrängt. Die Arbeitsleistung der Maschinen hat namentlich Rosetti untersucht.[4]) Von den zahlreichen Modificationen der Holtz'schen Einrichtung mögen hier nur die von Bertsch, Bleekrode, Borchardt, Leyser, Stöhrer und Zenger Erwähnung finden. Gegen das Umschlagen der Maschine wurde von Riess 1870 eine dritte Belegung sammt Saugvorrichtung an Stelle des diametralen Conductors angebracht. Kundt hatte demselben Uebelstand 1868 durch Combination des Influenzapparates mit der Reibungs-Elektrisirmaschine abgeholfen,[5]) indem er die feste Scheibe mit den Belegungen durch ein Reibzeug und einen Seidenflügel von nahezu der Fläche eines Quadranten ersetzte. Aehnliche Constructionen rühren von Carré, Le Dantec und Winter her.

Von Kaiser wurde eine Erhöhung der Spannung dadurch erzielt, dass er 1869 zwei Holtz'sche Maschinen miteinander verband, in der Weise, dass er zwei bewegliche Scheiben zu beiden Seiten der festen rotiren liess.[6]) Von Poggendorff, Ruhmkorff, Bleekrode und Anderen wurde dieser Gedanke, zwei Maschinen zu-

[1]) Mem. di Bologna, Bd. 6, S. 87, 1875. — [2]) Mascart, Traité de l'électr., Bd. 2, 1877. — [3]) Wiedemann, Elektr., Bd. 2, S. 202, 1883. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 154, S. 507, 1875. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 135, S. 484, 1868. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 156, S. 283, 1875.

sammenzustellen, weiter ausgebildet und von Schwedoff in eigenthümlicher Weise abgeändert.[1]) Später sind selbst noch mehr Holtz'sche Maschinen miteinander vereinigt worden und eine besonders wirksame derartige Combination mit zwölf drehbaren und zwölf festen Platten hat Ladd construirt. Hierher sind auch die von Holtz und Poggendorff ersonnenen Maschinen mit mehreren Kämmen und ebensovielen Belegungen und Ausschnitten zu rechnen. So sind von Ersterem an einer Scheibe bis zwanzig Erregungsstellen angebracht worden, doch wird dadurch auch die Umkehrung der Polarität ausserordentlich erleichtert, so dass diese Einrichtung praktisch nicht sehr empfehlenswerth ist.

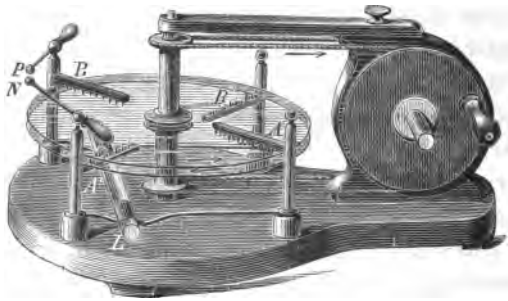
Eine der grössten Influenzmaschinen wurde von Berge in New-York hergestellt; der Durchmesser der Scheiben beträgt bei derselben 45 englische Zoll (114 Centimeter), die Länge der Funken 26 Zoll (66 Centimeter).

47. Eine von den bisher behandelten wesentlich verschiedene Art von Influenzmaschinen (Fig. 17) wurde von Holtz zwei Jahre nach seiner ersten Erfindung construirt.[2]) Bei dieser sind die feststehenden Belegungen der sogenannten „Elektromaschine erster Art" durch zwei einander diametral gegenüberliegende Metallkämme ersetzt, deren Verbindungslinie zu jener der beiden anderen Saugkämme senkrecht ist; in diesem Falle müssen aber beide Scheiben, und zwar in entgegengesetztem Sinne, zwischen diesen zwei Paaren von Saugspitzen rotiren. Sind die Kämme der einen Seite miteinander verbunden und an den anderen die Elektroden befestigt, so ist die Wirksamkeit des Apparates von der Drehungsrichtung

[1]) Pogg. Ann., Bd. 144, S. 597, 1871. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 130, S. 128, 1867.

unabhängig. Steht dagegen je ein Kamm von jeder Seite mit einem der anderen in Verbindung, so ist der Sinn der Rotation derart vorgeschrieben, dass jede Scheibe von zwei miteinander verbundenen Kämmen A, A' oder B, B' immer erst den entfernteren und dann den näheren passiren muss. Bei dieser letzteren Art der Verbindung ist die erzeugte elektrische Ladung bei gleicher Grösse und unter sonstigen gleichen Verhältnissen doppelt so gross, als bei den früheren Maschinen, da die Anzahl der wirksamen Kämme

Fig. 17.



Maschine zweiter Art von Holtz.

die doppelte ist. Die Wirkungsweise ist principiell dieselbe. Einer der Kämme wird durch Influenz elektrisch erregt, dann polarisirt er die benachbarte Scheibe, diese influenzirt bei ihrer Drehung die übrigen Kämme und wirkt dadurch wieder auf sich selbst und auf die andere Scheibe vertheilend; es wird auch hier die entwickelte Elektricität durch Uebertragung an andere Erregungsstellen zur Erzeugung neuer elektrischer Quanta verwendet.

48. Die Principien der Maschinen von Holtz und Töpler lassen sich in mannigfacher Weise miteinander vereinigen. Eine solche Verbindung beider ist zuerst im

Jahre 1879 von dem letzteren vorgenommen worden.[1]) Vor einer festen Scheibe mit zwei entgegengesetzt elektrisirten Papier-Belegungen rotirt eine andere, auf deren abgekehrter Seite im Kreise eine Anzahl erhöhter Metallblättchen angebracht ist. Den Papier-Inductoren gegenüber stehen zwei Saugkämme, in denen je eine Spitze durch eine Bürste aus Silberfäden oder durch eine Feder ersetzt ist, welche auf den Metallstückchen schleift. Ausserdem gleiten auf letzteren zwei weitere Federn oder Bürsten, welche ein schief gestellter, diametraler Glasstab trägt und die mit den hinter ihnen befindlichen Belegungen leitend verbunden sind. Zur besseren Trennung der Elektricitäten ist die feste Platte in zwei gleiche Theile zerschnitten, deren jeder einen Inductor enthält. Auch bei dieser Maschine muss die bewegliche Scheibe in einem bestimmten Sinne rotiren, nämlich derart, dass eine der Uebertragungsstellen zunächst die mit einer Belegung verbundene Feder und darauf erst diese selbst passirt. Die Stärke der Ladung möge in beiden Inductoren anfänglich nahezu die gleiche sein. Durch die vertheilende Wirkung derselben werden dann die Metallblättchen beim Vorübergehen entgegengesetzt elektrisch und binden dadurch ihrerseits wieder während einiger Zeit den grössten Theil der Elektricitätsmenge der betreffenden Inductoren. Wenn sie daher bei fortdauernder Rotation von den Bürsten, die mit den gleichnamigen Belegungen verbunden sind, gestreift werden, geben sie in Folge ihrer grösseren elektrischen Spannung einen Theil ihrer Ladung an diese ab, der Inductor wird dadurch stärker elektrisch. In dieser Weise wird auch hier die erregte

[1]) Berliner Monatsberichte, S. 950, 11. Dec. 1879.

Elektricität zur Erhöhung der Menge der erregenden verwendet. Wie leicht ersichtlich, wird durch die Wirkung der Spitzen, zwischen denen die Schleifbürsten angebracht sind, die Scheidung der elektrischen Fluida gesteigert. Durch die Reibung der Bürsten vermag sich auch diese Maschine selbstthätig zu erregen.

Ein ähnlicher Apparat wurde im Jahre 1880 vom Berliner Mechaniker J. R. Voss construirt;[1]) derselbe ist wesentlich nur insoweit verändert, als die feste Scheibe mehrere Metallbürsten trägt, welche an Stanniol-Belegungen der beweglichen schleifen.

Aehnlich wie Holtz und sogar noch früher hat auch Töpler mehrere Maschinen miteinander verbunden. Die erste derartige Combination reicht bis in das Jahr 1865 zurück.[2]) In neuerer Zeit wurde in Paris von Töpler eine Maschine mit 60 rotirenden Scheiben ausgestellt. Die Leistungen derselben sind ausserordentlich, doch ist dieselbe in Folge der grossen Zerbrechlichkeit und der starken Abnützung mehr nur für wissenschaftliche, als für praktische Zwecke brauchbar.

Achtes Capitel.

Entwicklung der Elektroskope.

49. Die Erfindung des Condensators ist von grosser Bedeutung in der Entwicklung der Elektricitätslehre geworden. Durch ihn war vor Allem die Möglichkeit gegeben, die schwächsten Grade elektrischer Erregung zu

[1]) Dingler „Polytechn. Journal", Bd. 237, S. 476, 1880. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 125, S. 494, 1865; Bd. 130, S. 518, 1867.

erkennen und elektrische Wirkungen nachzuweisen in Fällen, wo man sie bisher nicht einmal geahnt hatte. Von besonderem Werthe wurde die Vorrichtung auch für die Untersuchung und vergleichende Messung elektrischer Ladungen in Verbindung mit den sogenannten Elektroskopen.

Der Abt Nollet war nach dem allgemeinen Urtheile der erste, welcher die Stärke der elektrischen Erregung zu bestimmen versuchte.[1]) Er verwendete dazu die Beobachtung Du Fay's, dass frei nebeneinanderhängende Fäden bei Annäherung eines elektrisirten Körpers je nach dem Grade seiner Elektrisirung auseinanderfahren, und bestimmte die Grösse der Abweichung durch ihre Schatten auf einer kreisförmigen Scala. Da jedoch die Divergenz der Fäden wegen ihrer geringen Oberfläche nur schwach ist, wollte J. F. v. Waitz kleine Metallgewichte, die an Seidenfäden hingen, in Folge der Einwirkung des elektrisirten Körpers divergiren lassen, um auf diese Art dieselbe mit der Schwerkraft zu vergleichen,[2]) während Gralath[3]) und der Londoner Uhrmacher Elicott[4]) durch die Belastung einer Wagschale mit einem Gewichte zu ermitteln suchten, wie stark die andere metallische Schale von einem darunter befindlichen elektrischen Körper angezogen werde. Auch Le Roy und d'Arcy bedienten sich der Schwerkraft zur Vergleichung, indem sie am Stiel einer in Wasser schwimmenden Glaskugel eine verschiebbare Messingscheibe anbrachten, welche so eingestellt wurde, dass sie den Metalldeckel des Gefässes gerade berührte; durch

[1]) Mém. de l'Acad. de Paris, S. 130, 1747. — [2]) Waitz, Abh. v. d. Elektr., 1745. — [3]) Versuche u. Abhandl. d. naturf. Ges. in Danzig, Th. 1, S. 526, 1747. — [4]) Phil. Trans., Bd. 45, 1748.

Elektrisirung des Deckels wird die Scheibe abgestossen, also gehoben und dadurch lässt sich bis zu einem gewissen Grade die elektrische Erregung bestimmen.

50. Um dieselbe Zeit, als Watson seinen ersten Versuch über die Kleist'sche Flasche anstellte, also etwa zu Beginn des Jahres 1747, war inzwischen von Canton ein anderes Verfahren, die Quantität der elektrischen Materie zu messen, in Vorschlag gebracht worden;[1]) er wollte dazu die Anzahl der Funken verwenden, welche man bei Entladung einer Kleist'schen Flasche erhalten kann. Da man sich jedoch gerade der gemessenen Elektricitätsmenge dadurch gänzlich beraubt, suchte er sein Ziel auch noch auf einem anderen Wege zu erreichen, indem er von der Methode Nollet's Gebrauch machte; nur brachte er an den isolirten Leinen- oder Seidenfäden nach dem Vorgang Franklin's zwei Kugeln aus Kork oder Hollundermark an, wodurch er die Wirkung gegenüber dem Apparate Nollet's durch Vergrösserung der Oberfläche der elektrisirten Körper verstärkte, ohne durch gleichzeitige Vergrösserung des Gewichtes den errungenen Vortheil wieder illusorisch zu machen.[2]) Durch diese beiden Apparate war endlich die Richtung angebahnt, in welcher sich die Ausbildung der Elektroskope hinfort an bewegte.

51. Dem ersten Elektrometer Canton's, der sogenannten Massflasche oder dem Auslade-Elektrometer, wurde zunächst 1767 von dem Londoner Apotheker Timothy Lane, 1734 bis 1807, im Jahre 1767 eine praktischere Einrichtung gegeben,[3]) indem er einen

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 89. — [2]) Phil. Trans, Bd. 48, Th. 1, S. 350, 1754; Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 131. — [3]) Phil. Trans., Bd. 57, S. 451, 1767.

Knopf, der mit der äusseren Belegung der Flasche leitend verbunden ist, mittelst eines verschiebbaren Stäbchens und einer feinen Schraube in jeder beliebigen Entfernung vom Knopfe der inneren Belegung fixirbar machte.

An Stelle des Korkkugel-Elektroskopes empfahl Priestley 1767, an Coconfäden hängende Flaumfedern zu benützen,[1]) während Henley 1772[2]) die eine Korkkugel durch ein festes Messingblech ersetzte, von dem die andere an einem sehr leichten Holzstäbchen hängende, je nach der Stärke der mitgetheilten Elektricität, mehr oder weniger abgestossen wird. Dieses später von Saxtorph[3]) verbesserte sogenannte Quadranten-Elektrometer steht in Verbindung mit den Reibungs-Elektrisirmaschinen auch heute noch vielfach in Verwendung.

52. Tiberius Cavallo, der sich viel und erfolgreich mit der Construction von Elektroskopen befasste, behielt bei den meisten von ihm ersonnenen Apparaten Canton's Korkkügelchen bei, befestigte dieselben aber 1780 statt an Leinen- oder Seidenfäden an dünnen Metalldrähten[4]) und erzielte mit seinem sogenannten Flaschen-Elektrometer besonders dadurch einen Fortschritt, dass er den Apparat zum Schutze gegen äussere Einflüsse in passender Weise in einem Glasgehäuse unterbrachte, an dessen innerer Seite zwei Stanniolstreifen bei zu grosser Divergenz der beiden Kugeln die Elektricität von denselben in den Boden hinableiten.[5]) Diese Vorrichtung wurde bald allgemein üblich. So ist das Elektroskop, welches Volta 1781 vorschlug, hiervon

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 359. — [2]) Phil. Trans., Bd. 62, Nr. 26. — [3]) Saxtorph, Elektricitätslehre, 1803. — [4]) Cavallo, Traité de physique, S. 129. — [5]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Bd. 2, S. 19, 1797.

wesentlich nur dadurch verschieden, dass dasselbe an Stelle der Korkkugeln dünne Strohhalme enthielt,[1]) während Bennet im Jahre 1787 dafür leichte Goldblättchen wählte. Bennet war sehr eifrig bemüht, die Leistungsfähigkeit seines Apparates, welcher noch jetzt als der brauchbarste die meiste Verbreitung besitzt, zu erhöhen, so besonders indem er, ebenso wie später Volta, Cavallo und Andere, das Elektroskop mit dem Condensator verband, dessen Scheibe er auf der Zuleitungsstange befestigte. Andere Verbesserungen des Bennet'schen Elektroskops rühren von Cavallo,[2]) Nicholson[3]) und Anderen her.

Neuntes Capitel.

Mathematische Theorie der elektrostatischen Erscheinungen.

53. Alle diese Apparate, sowie die Unzahl der übrigen, welche in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts in rascher Aufeinanderfolge auftauchten, um oft ebenso rasch wieder der Vergessenheit anheimzufallen, vermochten keine genaue Messung, sondern höchstens eine annähernde Schätzung der elektrischen Erregung zu liefern, und das Problem, welches sich schon Aepinus in seinem Tentamen gestellt hatte, die elektrischen Erscheinungen durch blosse Wirkung von Kräften nach rein mechanischen Principien zu erklären, konnte deshalb noch immer keine befriedigende Lösung finden.

---

[1]) Volta, Meteorolog. Briefe, Bd. 1, S. 8, 1793. — [2]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 177, 1797. — [3]) Nicholson Journal, Th. 6, 1797.

Wie der Versuch von Aepinus, musste auch der ähnliche von Henry Cavendish in London, 1731 bis 1810, in Bezug auf diese Hauptaufgabe scheitern,[1]) wenngleich die von beiden ausgeführten Berechnungen für die damaligen unvollkommenen Hilfsmittel oft in bewunderungswürdiger Uebereinstimmung mit den Thatsachen sind. Während aber Aepinus sich noch mit der Voraussetzung hatte begnügen müssen, dass die Wechselwirkung der Elemente mit wachsender Distanz derselben abnehme, konnte Cavendish die negative Potenz der Entfernung, welcher die Kraft augenscheinlich proportional ist, schon zwischen die Werthe 1 und 3 einschliessen und in den Anwendungen seiner Rechnung auf Beispiele geradezu den Werth 2 dafür wählen. Man suchte die wahre Grösse dieses Exponenten durch Versuche auf die verschiedensten Arten zu ermitteln und Robison[2]) hatte denselben bereits 1769 sehr nahe oder genau gleich 2 gefunden; Professor Johann Tobias Mayer in Göttingen, 1723 bis 1762, war sogar schon ungefähr 1760 auf einem viel mühsameren Wege wenigstens für die magnetische Attraction zu dem gleichen Resultat gelangt, doch wurde seine Entdeckung erst nach seinem Tode aus den hinterlassenen Manuscripten bekannt.[3]) Priestley schloss im Jahre 1766[4]) und Cavendish[5]) ebenso 1772 auf die Giltigkeit des Gesetzes des umgekehrten Quadrates der Entfernung aus der zuerst von Franklin und in anderer Weise von den beiden Genannten nachgewiesenen ausschliesslichen Vertheilung der freien Elektricität über die Oberfläche der

[1]) Phil. Trans., Bd. 61, 1771. — [2]) Robison, Works, Bd. 4, S. 68. — [3]) Gehler, Wörterbuch der Physik, Bd. 6, S. 744. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 489. — [5]) Cavendish, Electr. Researches, herausgegeb. v. Maxwell, S. 104, 1879.

elektrischen Körper. Dem Oberstlieutenant im französischen Geniecorps und späteren Generalinspector des öffentlichen Unterrichtswesens Charles Augustin Coulomb, 14. Juni 1736 bis 23. August 1806, war aber erst die exacte experimentelle und theoretische Lösung der Aufgabe vorbehalten.

54. Eingehende Studien über die Elasticität gedrehter Fäden[1]) brachten Coulomb im Jahre 1785 auf den fruchtbaren Gedanken, die Wirkung schwacher Kräfte durch die Intensität zu messen, mit welcher ein solcher Faden in seine Ruhelage zurückzukehren bestrebt ist.[2]) Er construirte zu diesem Zwecke seine sogenannte Drehwage und wandte dieselbe in erster Reihe in geradezu mustergiltiger Weise zur numerischen Untersuchung der elektrischen Erscheinungen an.[3]) Sein Apparat in der ihm hierzu gegebenen Einrichtung erinnert in gewisser Beziehung an Henley's Quadranten-Elektrometer, nur dass bei ihm an Stelle der Schwere die Torsionskraft zum Vergleich mit der elektrischen Abstossung herangezogen wird. Entsprechend diesem veränderten Ziele geht Alles, was sich dort in einer verticalen Ebene vollzieht, bei der Drehwage in der horizontalen vor sich. Die feste Kork- oder Hollundermark-Kugel, respective das Metallscheibchen, ist mittelst eines Gummilackfadens am gläsernen Deckel oder an der Seitenwand des cylinderförmigen Glasgehäuses befestigt. Durch die Mitte des Deckels hängt aus einer hohen Glasröhre ein Silber- oder Coconfaden bis in die Mitte des Cylinders herab, um daselbst einen sehr dünnen Wagbalken zu halten, der

[1]) Mém. de l'Acad. de Paris, S 229, 1784. — [2]) Mém. de l'Acad. de Paris, S. 569, 1785. — [3]) Mém. de l'Acad. de Paris, 1785 bis 1789.

an dem einen Ende die bewegliche Markkugel trägt. Eine Papierscala in entsprechender Höhe an der Aussenseite des Gefässes gestattet die Abweichung der beiden Kugeln von einander abzulesen. Indem Coulomb an Stelle des Silberdrahtes und der Standkugel mit isolirendem Stiel einen Seidenfaden und eine Metallkugel mit einem Kupferdraht wählte, gestaltete er seine Wage zu einem sehr empfindlichen Elektroskope um,[1]) dessen Form er später noch erheblich vereinfachte.[2])

55. Mit diesem Apparate in der zuerst beschriebenen Form gelang es Coulomb zunächst, die abstossende und durch Schwingungsversuche, dann auch die anziehende Kraft zweier kleiner elektrischer Kugeln als verkehrt proportional dem Quadrate der Entfernung und direct proportional der elektrischen Dichte nachzuweisen.[3]) Er berücksichtigte dabei auch den Elektricitätsverlust durch die Zerstreuung in der Luft und durch die unvollkommene Isolirung der beiden Kugeln. Hierauf suchte er in ähnlicher Weise, wie es schon vor ihm Aepinus gethan, die Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche von Leitern, und zwar für eine Kugel, ein Ellipsoid, eine kreisrunde Scheibe und einen Cylinder zu ermitteln und fand dieselbe bei den leitenden Substanzen nur von der Form, dagegen nicht vom Stoffe derselben abhängig. Noch ähnlicher gestaltete Coulomb die Drehwage dem Quadranten-Elektroskop für die Untersuchung der Vertheilung der Elektricität auf zwei isolirten Kugeln in verschiedenen Entfernungen von einander, sowie bei gegenseitiger Berührung, indem er unter gleichzeitiger Vergrösserung der

---

[1]) Mém. de l'Acad., S. 560, 1785. — [2]) Biot, Traité de physique, Bd. 2, S. 349, 1816. — [3]) Mém. de l'Acad., 1785.

Dimensionen des Apparates die Standkugel durch eine kleine Platte von Goldpapier ersetzte, welche er der betreffenden Stelle des zu untersuchenden Körpers näherte; um den Elektricitätsverlust durch die Luft auszugleichen, nahm er alternirende Messungen vor.

Während Coulomb in dieser Weise durch äusserst exacte und geradezu unschätzbare Beobachtungen die wesentlichsten Daten empirisch bestimmte, suchte er dieselben gleichzeitig mit den Resultaten der Theorie auf Grund des entdeckten Fundamentalgesetzes im Einzelnen zu vergleichen. Er gab dabei der Symmer'schen Anschauung den Vorzug, betonte aber, dass die mathematischen Resultate für beide Hypothesen völlig dieselben sind. Er zeigte durch Rechnung, dass sich die freie Elektricität in Folge ihrer gegenseitigen Abstossung über die Oberfläche der Körper verbreiten muss, ohne in das Innere einzudringen, erklärte aus der Theorie die Wirkung der Spitzen durch die hohe elektrische Spannung an den Enden und wies mit grossem Scharfsinn für einige besondere Fälle die Uebereinstimmung der mathematischen Berechnung mit der von ihm beobachteten elektrischen Vertheilung nach. Durch seine Arbeiten hat Coulomb die festen Grundlagen für die Theorie der sogenannten Elektrostatik geschaffen und die Fundamentalthatsachen für alle weitere Forschung auf diesem Gebiete geliefert. Für die Entwicklung der Elektricitätslehre sind seine Anschauungen ausschlaggebend geworden. Durch seine Bemühungen und durch die gleichzeitige Entdeckung einer bis dahin nicht geahnten Quelle ausserordentlich zahlreicher und ganz anders gearteter elektrischer Erscheinungen gelangten die diesbezüglichen Untersuchungen zugleich aber auch für ziemlich lange Zeit zu einem gewissen Abschluss.

56. Durch die Aufstellung der Grundgesetze für die elektrische Anziehung und Abstossung war von Coulomb das Fundament für eine mathematische Behandlung der elektrostatischen Vorgänge gegeben. Die Wissenschaft war damit an dem Punkte angelangt, wo sie aus den Händen des Beobachters in die des rechnenden Theoretikers übergeht, wo die empirische Sammlung von Thatsachen durch eine Beschreibung derselben ersetzt wird, wo sich mit einem Worte die Umwandlung des bisher hauptsächlich inductiven Verfahrens in die rein deductive Methode der analytischen Betrachtung vollzieht. Die mathematischen Hilfsmittel hatte zwar schon Pierre Simon de Laplace (1749 bis 1827) in seiner berühmten „Théorie des attractions des Sphéroides et de la Figure des Planètes" [1]) im Jahre 1782 geboten. Es verging jedoch trotzdem eine Reihe von Jahren, ehe dieselben für die elektrischen Erscheinungen fruchtbar verwerthet wurden. Jean Baptiste Biot, Professor am Collège de France und später an der Universität zu Paris, 1774 bis 1862, machte 1801 den ersten Versuch, indem er eine strenge Lösung des Problems der elektrischen Vertheilung auf der Oberfläche eines Sphäroids lieferte.[2]) Aber erst Simeon Dionys Poisson, Professor an der Pariser polytechnischen Schule, 1781 bis 1840, hat 1811 den Grundstein für die mathematische Behandlung der Elektricitätslehre gelegt.[3]) Er betrachtete jede der beiden Elektricitäten wie eine incompressible elastische Flüssigkeit, deren Theilchen vollkommen beweglich und deren Wechselwirkungen durch das Coulombsche Gesetz bestimmt sind. Als Erfahrungsthatsache setzte er voraus, dass im Gleichgewichtszustande nur

[1]) Mém. de l'Acad. de Paris, 1782. — [2]) Bulletin des sciences, Bd. 51, 1801. — [3]) Mém. de l'Acad. de Paris, Bd. 12, S. 1 u. 163, 1811.

eine Oberflächenvertheilung der elektrischen Massen stattfinde und suchte aus diesen Annahmen zunächst für den besonderen Fall zweier sich berührender Kugeln die mathematischen Consequenzen zu ziehen. Er fand dieselben in vollkommener Uebereinstimmung mit den Messungen Coulomb's. Er erweiterte darauf seine Resultate auf allgemeinere Fälle, indem er sich der sogenannten Methode der reciproken Radien bediente, welche später von Thomson vervollkommnet wurde; auch hier zeigte sich die Rechnung durch die Beobachtung bestätigt.[1]) Das Verhältniss der Leiter zur Elektricität, die Ursachen der Erregung und der Oberflächenspannung wurden dadurch freilich nicht aufgeklärt, aber die Theorie gab wenigstens das Gesetz für die Vertheilung der schon vorhandenen Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters.

57. Eine wesentliche Förderung erhielt die mathematische Behandlung der elektrischen Erscheinungen durch eine functionentheoretische Betrachtungsweise, deren Grundzüge hier nicht skizzirt werden können. Es genüge zu erwähnen, dass dieselbe 1828 von George Green, geb. 14. Sept. 1793 in Nottingham, gest. 31. März 1841 als Lehrer an der Universität zu Cambridge, geschaffen wurde, indem dieser einen neuen Begriff, den der Potentialfunction, in die Wissenschaft einführte. Der Werth dieser Grösse charakterisirt die Wirkung irgend einer Elektricitätsmenge auf einen bestimmten Ort im Raume und, indem Green eine Beziehung zwischen der elektrischen Dichte in einem Punkte der Oberfläche eines Körpers und den Werthen der Potentialfunction für die ihm zu beiden Seiten der Oberfläche benachbarten Punkte ermittelte, gelang es ihm eine Methode ausfindig zu

[1]) Mém. de l'Acad. de Paris, 1821 u. 1822.

machen, durch welche die Dichtigkeit aus der Potentialfunction oder diese aus jener bestimmt werden kann. Er untersuchte in dieser Weise die Ladung einer Kleist'schen Flasche und einer Cascaden-Batterie und berechnete die Influenzwirkung einer und mehrerer Kugeln für besondere Fälle.[1])

Green's Arbeit blieb völlig unbeachtet. So kam es, dass Karl Friedrich Gauss in Göttingen, 1777 bis 1855, im Jahre 1839 die Green'schen Betrachtungen ohne Kenntniss derselben von neuem wiederholte und dabei auch seinerseits zur Aufstellung der sogenannten Potentialfunction, welche er jedoch kurzweg als Potential bezeichnete, veranlasst wurde.[2]) Er ermittelte die Eigenschaften dieser Grösse von einem etwas anderen Gesichtspunkte aus, als es Green gethan hatte, und ermöglichte durch einige allgemeine Sätze die weitgehenden Untersuchungen, welche später von Lejeune-Dirichlet (1805 bis 1859), Bernhard Riemann (1826 bis 1866), William Thomson und zahlreichen anderen Forschern über die influenzirende Wirkung elektrischer Körper aufeinander vorgenommen wurden. Durch diese Arbeiten hat der ursprünglich blos mathematisch definirte Potentialbegriff auch eine physikalische Deutung gewonnen. Wir verstehen jetzt darunter eine Arbeitsleistung in der Weise, dass das Potential einer elektrischen Masse auf eine andere für einen bestimmten Abstand gleich ist der Arbeit, welche geleistet werden müsste, um die beiden Massen aus unendlicher gegenseitiger Entfernung in ihre thatsächliche Lage zu bringen.

[1]) Green, Application of the math. analys. to the theories of electr. and magn., 1828; Pogg. Ann., Bd. 39, S. 73, 1850; Bd. 44, S. 356, 1852; Bd. 47, S. 161, 1854. — [2]) Resultate aus d. Beob. d. magnet. Vereins, S. 1, 1839.

10. Capitel.

Entwicklung der elektrostatischen Messapparate.

58. Durch die Construction seiner Drehwage hatte Coulomb den Weg angebahnt, auf welchem sich die vergleichende Messung elektrischer Kräfte weiter entwickeln konnte. Er hatte damit nicht blos ein neues Princip zur annähernden Vergleichung derselben geliefert, sondern vielmehr den ersten exacten Apparat zur genauen Messung derselben hergestellt; an Stelle der bisher gebrauchten Elektroskope hat er das erste wirklich leistungsfähige Elektrometer geschaffen. Merkwürdigerweise blieb aber die von ihm gegebene Anregung mehr als ein halbes Jahrhundert hindurch ohne alle Beachtung. Bei den verschiedenen Versuchen, welche von Simon 1808,[1]) Snow Harris 1834,[2]) August 1840[3]) und Anderen in dieser Richtung unternommen wurden, kehrten alle fast ausnahmslos zu den alten Bestrebungen zurück, die elektrischen Wirkungen in der mannigfachsten Art mit der Intensität der Schwerkraft zu vergleichen. Peltier wandte 1836 zuerst wieder einen der Drehwage einigermassen ähnlichen Apparat an, doch ohne von der Torsionskraft Gebrauch zu machen;[4]) er benützte an Stelle derselben vielmehr die richtende Wirkung des Erdmagnetismus, indem er einem horizontalen Metallstabe, welcher eine in horizontaler Richtung frei drehbare und mit ihm leitend verbundene Magnetnadel trägt, Elektricität mittheilte, so

[1]) Gilbert Annalen der Physik, Bd. 28, S. 277, 1808. — [2]) Phil. Trans., Bd. 62, S. 213, 1834. — [3]) August, Naturlehre, Bd. 2, S. 11, 1840. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 62, S. 422, 1836.

dass diese von jenem der Wirkung des Erdmagnetismus entgegen sich entfernen muss. Es ist dieses Princip später fruchtbar verwerthet worden, in der Form jedoch, wie Peltier es benützte, waren keine zuverlässigen Messungen damit ausführbar. Oersted in Kopenhagen vereinigte die Ideen von Coulomb und Peltier, indem er 1840 an einen Coconfaden anstatt der Magnetnadel einen schwach magnetischen Eisenbügel aufhing, mit welchem ein Messingdraht als Wagbalken verbunden war.[1]) Auch Oersted's Elektrometer vermochte sich keine Geltung zu verschaffen, indessen wurde es der Ausgangspunkt zu einer Reihe von Verbesserungen, welche endlich zu einem genauen und praktisch brauchbaren Instrumente führten.

59. Friedrich Johann Georg Dellmann, Gymnasiallehrer in Kreuznach, 1805 bis 1870, kehrte 1842 im Wesentlichen zu der ursprünglichen Gestalt der Drehwage zurück, nur eine der erwähnten Veränderungen entnahm er dem Oersted'schen Apparate.[2]) Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ersetzte er nämlich die Standkugel der Coulombschen Einrichtung durch einen horizontalen, geraden Messingdraht, den er unter dem nadelförmigen Wagbalken anbrachte. Da dieser auf die ganze Länge des letzteren wirksam ist, wird die Ablenkung desselben dadurch wesentlich verstärkt und selbst eine kleinere elektrische Ladung wahrnehmbar. Von Romershausen wurde 1846 an Stelle des Drahtes ein flacher Streifen gewählt, der in der Mitte einen Einschnitt hat, so dass sich der Wagbalken genau an ihn anlegen kann.[3]) Rudolf Kohlrausch, geboren 6. November 1809, gestorben 9. März 1858,

[1]) Pogg. Ann., Bd. 53, S. 612, 1841. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 55, S. 301, 1842; Bd. 58, S. 49, 1843. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 69, S. 71, 1846.

brachte 1847 die Torsionskraft eines Glasfadens in Verwendung, welche die eines Coconfadens bedeutend übertrifft; einige andere Verbesserungen, die er vornahm, hatten den Zweck, das Entstehen von Luftströmungen zu verhindern, der Umgebung die Feuchtigkeit zu entziehen und die Exactheit der Ablesung zu erhöhen.[1]) Als endlich von Dellmann noch eine bequeme Ladungsvorrichtung hinzugefügt wurde,[2]) war damit im Wesentlichen der jetzt noch gebräuchliche Apparat geschaffen, dessen Theorie von Röber gegeben worden ist.[3]) Die Elektricitätsmenge wird bei demselben durch den Torsionswinkel gemessen, um welchen man die Nadel drehen muss, um die Ablenkung auf einer bestimmten Höhe zu erhalten.

Zur Construction eines zweiten Elektrometers wurde von Kohlrausch der Gedanke Peltier's mit einer praktischen Messungsmethode in Verbindung gebracht,[4]) welche bei einer anderen Gelegenheit zuerst von Pouillet verwendet worden war.[5]) Wenn nämlich im Dellmann-schen Apparat der Wagbalken magnetisch und der Messingdraht mit seinem Gestelle beweglich ist, so dass er der von ihm abgestossenen Magnetnadel nachgedreht werden kann, so lange, bis beide wieder den ursprünglichen Winkel bilden, so ist das Quadrat der Elektricitätsmenge, welche dem Metallstabe mitgetheilt wurde, dem Sinus dieses Drehungswinkels proportional. Durch eine besondere Vorrichtung wird eine höchst genaue Einstellung des Instrumentes ermöglicht. Das Sinus-Elektrometer von Riess[6]) weicht von diesem nur in wenigen, nicht wesentlichen Punkten ab.

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 72, S. 353, 1847; Bd. 74, S. 499, 1848. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 86, S. 524, 1852. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 89, S. 283, 1853. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 88, S. 497, 1853. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 42, S. 281, 1837. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 96, S. 513, 1855.

60. Einen bedeutenden Fortschritt gegenüber den genannten haben die Thomson'schen Elektrometer aufzuweisen, welche durch ihre Empfindlichkeit und Präcision unter den feineren Messapparaten eine der ersten Stellen einnehmen. William Thomson, Professor in Glasgow, geboren im Juni 1824, hat eine grosse Anzahl derselben nach sehr mannigfachen Principien construirt, von welchen hier nur das sogenannte absolute Elektrometer und das Quadranten-Elektrometer Erwähnung finden mögen.[1]) Das letztere beruht im Wesentlichen darauf, dass ein sehr leichtes Aluminiumblech zwischen den vier Quadranten eines flachen Metallcylinders schwebt, von denen je zwei gegenüberliegende miteinander verbunden sind. Wird nun das eine Paar der Quadranten zur Erde abgeleitet und dem anderen die zu prüfende Elektricitätsmenge mitgetheilt, so wird das Blech, welches mit einem gewissen constanten Quantum Elektricität versehen ist, nach einer der beiden Seiten abgelenkt und aus dem Drehungswinkel, welcher nöthig ist, um es wieder in seine Anfangsstellung zurückzubringen, lässt sich die Intensität der elektrischen Erregung genau bestimmen. Die constante Ladung der Aluminiumnadel wird dadurch bewirkt, dass dieselbe durch einen Platindraht mit der inneren Belegung einer Kleist'schen Flasche verbunden ist, deren äussere Belegung zur Erde abgeleitet ist. Durch ein kleines Magnetchen, welches am Platindraht befestigt ist, und durch einen Magnet an der Aussenseite des Gefässes wird die Nadel immer genau in der Mitte zwischen den Quadranten gehalten. Eine eigene Vorrichtung, von

[1]) Thomson, Reprint of papers on electrostat. and magnet. S. 257 bis 312, 1872.

Thomson der Auffüller (replenisher) genannt, ermöglicht es, die Ladung des als Kleist'sche Flasche dienenden Glasgefässes beliebig zu verstärken oder zu schwächen. Das Princip derselben ist das gleiche, wie bei den Influenzmaschinen. Zwei an einem isolirenden Stabe befestigte Metallbacken schleifen bei ihrer Rotation abwechselnd an zwei miteinander leitend verbundenen Federn und an zwei metallischen Cylinderhälften, von denen sie fast ganz umschlossen sind und die mit den beiden Belegungen der Flasche in Verbindung stehen. Durch die Influenz der Ladung dieser Halbcylinder werden die Metallplatten entgegengesetzt elektrisirt und geben ihrerseits bei der Drehung ihre Elektricitäten wieder an die Cylinderhälften und dadurch an die Belegungen ab. Die Verstärkung oder Schwächung der Ladung der Flasche ist demnach von der Rotationsrichtung abhängig. Das Quadranten-Elektrometer Thomson's hat namentlich durch Mascart, Emil Stöhrer, Edelmann und Andere mannigfache Veränderungen erfahren.

Beim sogenannten absoluten Elektrometer[1]) hat Thomson nach dem Vorgange von Snow Harris[2]) die Anziehung entgegengesetzt elektrischer paralleler Platten derart in Anwendung gebracht, dass die untere durch eine Mikrometerschraube der oberen, die von einem Hebelarm oder leichten Stahlfedern getragen wird und somit beweglich ist, so weit genähert wird, bis diese eine bestimmte Einstellung annimmt; die Wirkung der beiden Platten aufeinander wird dann durch das Ge-

---

[1]) Thomson, Reprint of papers, S. 281, 1872. — [2]) Phil. Trans., Bd. 62, S. 213, 1834.

wichtchen gemessen, welches die gleiche Annäherung hervorbringt.

Auf verschiedene neuere Elektrometer-Constructionen, wie das Standard-Elektrometer von Thomson, das Contrafilar-Elektrometer von Zöllner, das Universal-Elektrometer von Zenger und andere kann hier nicht näher eingegangen werden.

Elftes Capitel.

Untersuchungen über die atmosphärische Elektricität.

61. Während die auf die Entdeckung der Kleist'schen Flasche folgenden Untersuchungen in der geschilderten Weise zur Ausbildung der elektrostatischen Messapparate Veranlassung gaben und die Auffindung und Verstärkung kleiner Elektricitätsmengen ermöglichten, wurde dadurch zugleich zu einer grossen Anzahl von Entdeckungen der Anstoss geboten, welche den Kreis der Erscheinungen, die mit elektrischen Vorgängen verknüpft sind, beträchtlich erweiterten. Der erste Antrieb hierzu wurde durch die Kleist'sche Entdeckung selbst gegeben.

Schon Wall[1]) und später Guericke[2]) und Desaguliers[3]) war die Aehnlichkeit des Funkens und des Knalles bei der elektrischen Entladung mit Blitz und Donner aufgefallen. Aber erst die starken anderweitigen Wirkungen der Kleist'schen Flasche, die sich im Entzünden brennbarer Stoffe, im Schmelzen von

---

[1]) Phil. Trans. abridg., Bd. 4, S. 275. — [2]) Phil. Trans. abridg., Bd. 8, S. 401. — [3]) Desaguliers, Course of Exper. Phil., Th. 2, S. 357, 1744.

Metallen, im Zerschmettern zerbrechlicher Körper und in der Tödtung und Betäubung von Thieren äusserten, lenkten die allgemeine Aufmerksamkeit auf diesen Gegenstand. Winkler war der erste, der diesen Vergleich mit Consequenz durchführte und Blitz und Donner geradezu als elektrische Ereignisse erklärte.[1]) Er machte hierbei die scharfsinnige Bemerkung, dass ausser den vielen übrigen Analogien vor Allem auch die Beobachtung ausschlaggebend sei, dass der Blitz häufig Metalle in schlecht leitenden Umhüllungen schmelze, ohne die letzteren zu beschädigen; er dachte indessen nicht daran, diese Beweisführung durch directe Versuche zu bestätigen, so wenig wie der Abbé Nollet, welcher sich auf blosse Vermuthungen beschränkte.[2]) Es war dies vielmehr der kühne Gedanke Franklin's,[3]) welcher, wahrscheinlich durch seine Untersuchungen über die Eigenschaft der Spitzen[4]) veranlasst, seine Aufmerksamkeit ausser auf die vorgenannten Umstände vor Allem auch auf die Erfahrung richtete, dass der Blitzschlag vorzugsweise spitze Erhebungen zu treffen pflegt, ähnlich wie die elektrische Materie durch die spitzen Enden der Körper rascher ein- und auszuströmen vermag.[5]) Er benützte diese Erscheinung zu dem Vorschlag, den gefährlichen Wirkungen des Blitzes durch Errichtung von scharf zugespitzten, mit dem Erdboden leitend verbundenen Metallstangen auf den höchsten Theilen der Gebäude vorzubeugen,[6]) am 7. November 1749. Er bemerkte dabei, dass durch eine solche Vorrichtung zugleich die

---

[1]) Winkler, Elektr. Kraft des Wassers, S. 137, 1746. — [2]) Nollet, Leçons de phys., Bd. 4, S. 34, 1743 bis 1750. — [3]) Franklin, Letters, S. 44. — [4]) Franklin, Letters, S. 56. — [5]) Franklin, Letters, S. 47. — [6]) Franklin, Letters, S. 62 und 124.

Identität des Blitzes mit der elektrischen Materie über allen Zweifel erhoben werden könne. Er hatte auch die Absicht, diese Untersuchung selbst auszuführen, wartete aber zu diesem Zwecke vorerst die Erbauung eines Kirchthurms in Philadelphia ab.

62. Der grossartige Plan Franklin's erregte in der wissenschaftlichen Welt ungemeines Aufsehen. Gleichwohl unternahmen es erst im Jahre 1752 die Franzosen Dalibard und Delor, denselben zu verwirklichen. Ihre Bestrebungen wurden von Erfolg gekrönt. Am 10. Mai 1752, 20 Minuten nach 2 Uhr Nachmittags, zog der von Dalibard aufgestellte Wächter Coiffier in Marly-la-Ville bei Paris aus einer 40 Fuss (13 Meter) hohen isolirten Eisenstange[1]) und acht Tage darauf Delor aus einer ebensolchen von 99 Fuss (32 Meter) Länge durch Berührung derselben mit einem Drahte die ersten, ziemlich beträchtlichen Funken.[2]) Damit war die elektrische Natur des Gewitters erwiesen.

Ehe noch Franklin von diesen Resultaten erfahren konnte, hatte er sich ein Mittel ersonnen, um auch ohne die noch immer nicht vollendete Kirchthurmspitze die Elektricität aus den Regionen der Wolken herabzulocken. Er liess im Juni 1752 in Gesellschaft seines Sohnes einen Drachen, den er mit einer Drahtspitze versehen hatte, an einer hanfenen Schnur in die Höhe steigen und erhielt zu seiner Freude aus einem am unteren Ende derselben befestigten Schlüssel deutliche Funken.[3])

63. An allen Orten wurden diese überraschenden Versuche gleichzeitig nachgemacht und mit zweckmässigen Abänderungen weiter fortgeführt. Der Abbé Wilhelm

[1]) Franklin, Letters, S. 106. — [2]) Nollet, Lettres sur l'électr., Th. 1, S. 9, 1753. — [3]) Franklin, Letters, S. 111.

Mazéas, Domherr in Vannes, 1712 bis 1776, leitete die atmosphärische Elektricität in ein sogenanntes Magazin in seinem Zimmer, im Wesentlichen eine isolirte eiserne Stange mit scharfer Spitze, und Le Monnier in Saint-Germain en Laye zeigte mit diesem Apparate nicht nur, dass schon eine geringe Höhe der Beobachtungsstange zur Ansammlung der Elektricität genüge,[1]) sondern wies auch am 15. November 1752 nach, dass die Luft selbst bei gewitterfreiem Himmel in gewissem Grade elektrisch ist.[2]) In England wiederholte zuerst Canton am 20. Juli 1752 mit Glück den Versuch und nach ihm Wilson und Bevis am 12. August.[3]) Die grössten Wirkungen erzielte aber de Romas, Beisitzer beim Landesgerichte zu Nerac, der durch denselben Gedankengang, wie Franklin, auch seinerseits auf die Verwendung von Drachen an Stelle der Spitzen gekommen war und, ohne von Franklin's Erfolgen Kenntniss zu haben, einen solchen von 18 Quadratfuss (1·9 Quadratmeter) Oberfläche steigen liess, wobei er den glücklichen Einfall hatte, die ganze Schnur mit einem feinen Metalldraht zu durchflechten. Er erhielt am 7. Juni 1753 aus einer Höhe von 550 Fuss (180 Meter) mit einem donnerähnlichen Knall drei Explosionen, bei denen die Funken 8 Zoll (22 Centimeter) lang waren und am 26. August 1756 sogar binnen einer Stunde 30 Feuerstreifen, von denen jeder eine Länge von 10 Fuss (3·2 Meter) und eine Dicke von 1 Zoll (2·7 Centimeter) besass.[4])

Nollet hatte 1752 schon auf die grossen Gefahren bei derartigen Untersuchungen aufmerksam gemacht.

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 47, S. 551, 1752. — [2]) Mém. de l'Acad. de Paris, S. 233, 1752. — [3]) Phil. Trans., Bd. 47, S. 568, 1752. — [4]) Nollet, Lettres, Bd. 2, S. 239, 1753.

Seine Warnung konnte aber nicht verhindern, dass am 6. August 1753 der Petersburger Professor Richmann seiner Unvorsichtigkeit zum Opfer fiel. [1])

64. Dieses traurige Ereigniss vermochte die Forscher in ihrem Eifer nicht zu erschüttern. Ihre Bestrebungen waren zunächst darauf gerichtet, die Beschaffenheit der atmosphärischen Elektricität zu ermitteln. Franklin, der im September 1752 auf seinem Hause ebenfalls eine Wetterstange mit einem elektrischen Glockenspiel zu selbstthätiger Anzeige der Elektricität aufgestellt hatte, fand dieselbe seit seiner ersten diesbezüglichen Untersuchung am 12. April 1753 stets negativ, bis er am 6. Juni desselben Jahres die erste positiv elektrische Wolke entdeckte. [2]) Dieselbe Bemerkung, dass die Elektricität der Atmosphäre von wechselndem Charakter sei, wurde einige Zeit vorher auch von Canton, [3]) sowie später von Beccaria [4]) gemacht. Besonders der letztere zeichnete sich durch rastlosen Fleiss und scharfe Beobachtungsgabe, sowie durch seine Bemühungen aus, eine allgemeine Theorie der meteorologischen Erscheinungen, in welche er ausser dem Gewitter, Regen, Hagel und Schnee auch die Meteore und Sternschnuppen, das Nordlicht und Wetterleuchten, Wasserhosen, Wirbelwinde, ja selbst das Erdbeben einbezog, [5]) als Wirkungen elektrischer Vorgänge auszubilden. Diese Erklärungen, mit Ausnahme der auch jetzt noch giltigen von der Entstehung des Donners, vermochten sich in der Folgezeit freilich nicht zu behaupten. Die ersten genauen Beobachtungen über den Zusammenhang

[1]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 2, S. 765, 1754; Bd. 49, Th. 1, S. 61, 1756. — [2]) Franklin, Letters, S. 112. — [3]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 1, S. 356, 1754. — [4]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 138, 1767. — [5]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 206, 1767.

der Luftelektricität mit den sonstigen meteorologischen Verhältnissen waren übrigens von Mazéas im Juni, Juli und October 1753 auf dem Schlosse Maintenon vorgenommen worden.[1])

65. Es wurde schon erwähnt, dass Franklin die Anlage von Blitzableitern zum Schutze vor Gewittern vorgeschlagen hatte.[2]) Dieser Gedanke wurde von Winkler in einer Gedächtnissschrift[3]) zu Anfang September 1753 weiter ausgeführt und wahrscheinlich dadurch veranlasst, errichtete der Prämonstratensermönch und Pfarrer zu Prenditz bei Znaim in Mähren, Prokopius Divisch, 1696 bis 1765, im Jahre 1754 den ersten Blitzableiter.[4]) 1760 folgte ihm Franklin mit einem Ableiter auf dem Hause des Kaufmanns West in Philadelphia,[5]) 1762 Watson zu Payneshill in England, 1769 Johann Albert Heinrich Reimarus mit einem Ableiter auf dem Jacobi-Kirchthurm in Hamburg[6]) und 1771 Saussure in Genf.[7]) Im Jahre 1782 befanden sich auf den 1300 Häusern von Philadelphia schon mehr als 400 Blitzableiter.[8]) Auf Franklin's Empfehlung wurden die Ableiter allgemein mit Spitzen versehen. Da trat ungefähr um 1766 Wilson gegen dieselben auf, indem er behauptete, dass durch sie der Blitz auf die Gebäude geradezu herabgezogen und dadurch die Gefahr wesentlich erhöht werde; er wollte daher die Ableitung lieber im Innern des Gebäudes etwas unter der höchsten Stelle desselben in einer abgerundeten

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 1, S. 377, 1754. — [2]) Franklin, Letters, S. 62 u. 124. — [3]) Winkler, De avertendi fulminis artificio, 1753. — [4]) Musschenbroek, Introductio ad philosoph. natur., Bd. 2, § 2543. — [5]) Phil. Trans., Bd. 53, Th. 1, S. 96, 1763. — [6]) Reimarus, Vom Blitze, 1778. — [7]) Buch der Erfindungen, Th. 2, S. 310, 1872. — [8]) Buch der Erfindungen, Th. 2, S. 310, 1872.

Metallstange endigen lassen, um dem Blitz nur für den Fall, dass derselbe schon eingeschlagen habe, einen bestimmten Weg vorzuschreiben.[1]) Beccaria vertheidigte dagegen den Franklin'schen Standpunkt, indem er betonte, dass die zugespitzten Ableiter keineswegs mehr elektrische Materie an sich zu ziehen vermöchten, als sie auch zu leiten im Stande seien; im Gegentheil wollte er die Zahl der Blitzableiter noch möglichst erhöht wissen.[2]) Wilson's Ansicht fand in der That keinen Anhang, bis am 12. Mai 1777 der Blitz in das mit spitzigen Ableitern versehene Schiffsmagazin zu Purfleet 46 Fuss (15 Meter) weit von der Spitze eines Ableiters einschlug, ohne indess weiteren Schaden zu thun.[3]) Wilson erblickte darin eine Bestätigung seiner Meinung und rief dadurch eine wissenschaftliche Erörterung hervor, welche mit Rücksicht auf die theils schon vollzogene, theils aber gerade beabsichtigte Errichtung von Blitzableitern an Pulvermagazinen, Schiffen und öffentlichen wie Privatgebäuden hohe praktische Bedeutung gewann. Wilson unternahm grossartige Versuche zur Vertheidigung seiner Behauptung;[4]) die grosse Mehrheit der Gelehrten und besonders der Mechaniker Edward Nairne,[5]) sowie Lord Charles Mahon[6]) vertraten den entgegengesetzten Standpunkt. Schliesslich fiel die Entscheidung zu Gunsten der zugespitzten Ableiter aus und die Londoner königliche Gesellschaft verweigerte Wilson's weiteren Streitschriften überhaupt die Aufnahme. Als Grund für die spitzen Ableiter wurde nament-

[1]) Phil. Trans., Bd. 54, S. 249, 1764. — [2]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 278, 1767. — [3]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 101, 1797. — [4]) Phil. Trans., Bd. 68, Th. 1, 1778. — [5]) Phil. Trans, Bd. 68, Th. 1, Nr. 15 u. Th. 2, Nr. 36 u. 37, 1778. — [6]) Mahon, Principles of Electricity, 1779, deutsch von Seeger, 1789.

lich geltend gemacht, dass durch dieselben die Elektricität aus den Wolken in einem beständigen Strom zur Erde geleitet wird, so dass es in den meisten Fällen zu einem Schlage gar nicht kommen kann.[1]) Auf den Rath Swift's in Greenwich gab man der Spitze des Blitzableiters die Form einer Pyramide.[2]) Die Resultate der Untersuchungen und Erörterungen wurden von Reimarus in einem vorzüglichen Büchlein zusammengefasst, welches unter dem Titel: „Vom Blitze, aus praktischen Erfahrungen" 1778 und in weiterer Ausführung 1794 als „Neuere Bemerkungen vom Blitze" erschien.

Entsprechend den Erfahrungen der Praxis haben die Blitzableiter im Laufe der Zeit manche Veränderung durchgemacht. Im Jahre 1823 fasste Louis Joseph Gay-Lussac, 1778 bis 1850, im Auftrag der französischen Akademie die empfehlenswerthen Verbesserungen in einer Denkschrift zusammen.[3]) Gelegentlich des Baues des Industriepalastes für die erste Weltausstellung in Paris unterzog sich 1855 Pouillet aus der gleichen Veranlassung derselben Aufgabe.[4]) Erwähnenswerth sind endlich noch die Vorschläge von Snow Harris über die Blitzableiter an Bord von Schiffen, welche besonders in England Verwendung gefunden haben.

66. Nachdem die praktischen Fragen über die Construction der Blitzableiter erledigt waren, begann man sich wieder der theoretischen Untersuchung der Luftelektricität zuzuwenden. Cavallo hatte durch eine grosse Anzahl von Beobachtungen, die er seit dem 31. August 1775

[1]) Journal des Savants, S. 375, 1782. — [2]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 1, S. 73, 1797. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 26, S. 258, 1824. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 43, S. 432, 1855.

während mehrerer Jahre zu Islington vornahm, festgestellt, dass die Elektricität der Atmosphäre beständig positiv und bei dickem Nebel, sowie an hochgelegenen Orten am stärksten ist.[1]) Lichtenberg erleichterte derartige Arbeiten ausserordentlich, indem er 1779 einen selbstthätigen Registrirapparat angab, durch welchen die Beschaffenheit der Luftelektricität auch ohne beständige directe Beobachtung nachträglich ermittelt werden kann und welcher auch noch gegenwärtig in Verwendung steht. Er liess zu diesem Zwecke eine mit der Franklin'schen Beobachtungsstange leitend verbundene Metallkugel auf einer durch ein Uhrwerk bewegten und mit sogenanntem elektrischen Pulver bestreuten Elektrophorscheibe schleifen.[2])

Für meteorologische Bestimmungen wurde die Empfindlichkeit des Elektroskopes durch Saussure und Bennet wesentlich erhöht, indem ersterer 1785 auf das Elektroskop Cavallo's eine lange Metallstange setzte und letzterer an seinem eigenen Elektroskop auf dem Knauf, welcher zur Leitung der Elektricität an die Blättchen dient, am 14. September 1786 eine Flamme anbrachte, weil er, ebenso wie im darauffolgenden Jahre Volta, eine beträchtliche Steigerung der Empfindlichkeit dadurch wahrgenommen hatte.[3]) Horace Benoit de Saussure, Professor der Philosophie in Genf, 1740 bis 1799, befasste sich besonders viel mit Untersuchungen über die atmosphärische Elektricität und es gelang ihm 1785 eine ziemlich regelmässige tägliche Periode in den Schwankungen derselben an heiteren Tagen nachzuweisen,[4]) eine Entdeckung, welche

[1]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 1, S. 344, 1797. — [2]) Lichtenberg, De nova methodo, S. 65, 1778. — [3]) Phil. Trans., Bd. 77, 1787. — [4]) Saussure, Voyage dans les Alpes, Bd. 2, Cap. 28, 1786.

durch den Prediger und späteren Professor der Physik in München Maréchaux, geboren 1764, bestätigt und genauer präcisirt wurde.[1]) Die eingehendsten systematischen Beobachtungen rühren von Gustav Schübler, Professor der Naturgeschichte in Tübingen, 1787 bis 1834, her, welcher neben der täglichen eine jährliche Periode der Normalelektricität der Luft constatirte und den Zusammenhang der Elektricität der Niederschläge mit der Windrichtung ausser allen Zweifel setzte.[2]) Von neueren Forschern haben sich namentlich Dellmann, Peltier und Palmieri um die Untersuchung der Luftelektricität verdient gemacht. Eine befriedigende Theorie derselben ist aber trotz vielfacher Bemühungen von Seiten Saussure's,[3]) Volta's,[4]) Pouillet's,[5]) Auguste de la Rives[6]) und Anderer noch immer eine Aufgabe der Zukunft.

Zwölftes Capitel.

Entdeckung verschiedener neuer Quellen der Elektricität.

67. Durch die Kleist'sche Entdeckung wurde das Studium einer neuen Elektricitätsquelle veranlasst in den schon Jahrtausende hindurch beobachteten Wirkungen der elektrischen Fische. Als Musschenbroek die erste Erschütterung der Flasche erhielt, verglich er sie sogleich mit den ihm bekannten Schlägen, welche der im Mittel-

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 16, S. 125, 1804. — [2]) Schübler, Grundsätze der Meteorologie. — [3]) Saussure, Voyage dans les Alpes, Bd. 2, 1786. — [4]) Volta, Meteorologische Briefe, 1793. — [5]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 35, S. 401, 1827. — [6]) De la Rive, Traité de l'électricité, Bd. 3, S. 188, 1854—8.

meer lebende Zitterroche (raja torpedo) auszutheilen pflegt,[1]) und in Folge dieser oberflächlichen Aehnlichkeit wurde es gebräuchlich, dieses und einige verwandte Thiere mit dem Namen der elektrischen Fische zu bezeichnen. Aber erst J. Walsh nahm 1772 zu La Rochelle eine gründliche Untersuchung dieser Erscheinungen vor und bestätigte die Behauptung Bancroft's[2]) bezüglich der elektrischen Natur dieser Thiere, indem er nachwies, dass man die Schläge nur bei gleichzeitiger Berührung von Rücken und Bauch mit einem guten Leiter der Elektricität empfange.[3]) Er fand zugleich das elektrische Organ der Fische, welches aus zwei Reihen sehr zahlreicher senkrechter Säulen besteht, in deren Zwischenräumen eine wässerige Flüssigkeit vorhanden ist. Walsh zeigte, dass die Schläge eine willkürliche Handlung sind und durch das Wasser hindurch in die Ferne geleitet werden. Dieselbe Eigenschaft wurde 1773 von John Hunter an dem in den Flüssen Südamerikas lebenden Zitter-Aal (gymnotus electricus) durch Zergliederung desselben nachgewiesen.[4]) Die erste Nachricht von diesem Thiere war 1671 durch Richer nach Europa gelangt[5]) und Adanson hatte 1751 zuerst den elektrischen Charakter desselben vermuthet.[6]) Walsh fand bei ihm im Wesentlichen die gleichen Eigenthümlichkeiten, wie beim Zitterrochen, bemerkte aber ausserdem, dass sich der Schlag des Aals von einem Leiter zu einem anderen selbst durch eine dünne Luftschicht fortpflanzt und dabei ein elektrischer Funke überspringt, eine Erscheinung,

[1]) Musschenbroek, Introd. ad phil. nat., Bd. 1, §. 901. — [2]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 278. — [3]) Phil. Trans., Bd. 63, S. 461, 1773. — [4]) Phil. Trans., Bd. 64, S. 395, 1774. — [5]) Du Hamel, Hist. reg. scient. acad., S. 168. — [6]) Rozier, Observ. sur la phys., Bd. 5, S. 444, 1775.

welche Matteucci später auch an dem Zitterrochen wahrnahm.

68. Seit den Beobachtungen von Alexander Humboldt und Bonpland in Südamerika [1]) wurden die Untersuchungen über die elektrische Natur dieser und mehrerer ähnlicher Thiere ziemlich zahlreich. Volta erklärte die Entwicklung der Elektricität in ihren eigenthümlichen Organen [2]) und Davy, sowie der Pater Santi Linari bewiesen die Gleichartigkeit dieser thierischen Elektricität mit der durch Reibung erhaltenen, indem ersterer durch beide dieselben magnetischen und chemischen Wirkungen zu Stande brachte [3]) und der letztere die Ansammlung statischer Elektricität mit einem empfindlichen Condensator zeigte. [4]) Faraday bestimmte 1839 die Richtung der elektrischen Entladung im Zitteraal vom Kopfe zum Schwanze hin, [5]) A. C. Becquerel und Breschet lösten dieselbe Aufgabe für den Zitterrochen [6]) und Schönbein machte durch seine Untersuchungen sogar die Messung der elektrischen Wirkung möglich. [7]) Von A. de la Rive und Matteucci wurde endlich 1845 die Voltasche Theorie durch die Wahrnehmung bestätigt, dass die elektrische Erregung bei Verbindung der Mitte des Körpers mit einem der beiden Enden nur ungefähr halb so stark als bei Verbindung von Kopf und Schwanz ist. [8])

69. Während durch den Nachweis der elektrischen Natur des Gewitters und der durch die Krampffische her-

---

[1]) Ann. de Chim., Bd. 22, S. 51, 1797. — [2]) Phil. Trans., Bd. 90, Bd. 90, S. 403, 1800. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 41, S. 438, 1829. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 40, S. 643, 1837. — [5]) Bibl. univ. de Genève, Bd. 24, S. 387, 1839. — [6]) J. Müller, Lehrbuch der Phys. u. Meteor., Bd. 2, S. 433, 1852. — [7]) Riess, Reibungselektr., Bd. 2, S. 457, 1853. — [8]) Becquerel, Hist. de l'Electr., S. 176, 1858.

vorgebrachten Wirkungen zwei Gruppen von Erscheinungen ihre Aufklärung fanden, welche schon seit Jahrtausenden das Interesse und die Wissbegierde der Menschheit in hohem Grade gefesselt hatten, wurde durch das Bestreben, die näheren Bedingungen für das Zustandekommen elektrischer Vorgänge festzustellen, eine grosse Anzahl von Thatsachen ermittelt, welche eine tiefere Einsicht in die Verhältnisse darboten, von denen die Entwicklung der Elektricität durch Reibung abhängig ist und welche zur Kenntniss verschiedener neuer Arten der Elektricitätserregung führten.

Zu der ersten diesbezüglichen Wahrnehmung wurde Canton augenscheinlich durch seine Untersuchungen über den vermeintlichen elektrischen Dunstkreis veranlasst, welcher geriebene Körper umgeben sollte. Indem er mit einer stark elektrisirten Glasröhre mehrmals über die eine Hälfte einer elektrischen Siegellackstange strich, um ihren gegenseitigen Einfluss aufeinander zu erforschen, wurde diese durch Mittheilung an den berührten Stellen positiv elektrisch.[1]) So machte er die Entdeckung, dass die Art des elektrischen Zustandes nicht eine besondere Eigenthümlichkeit des geriebenen Körpers ist. Seine Bestrebungen richteten sich nun dahin, diesen Nachweis auch direct durch Veränderung der Oberflächen des geriebenen Körpers und des Reibzeuges zu erbringen und es gelang ihm dies gegen Ende des Jahres 1753. Wilke suchte darauf 1757 eine Beziehung zwischen verschiedenen Körpern in Bezug auf die bei ihrer gegenseitigen Reibung auftretende Art der Elektricität zu ermitteln und stellte eine ganze Reihe auf, in welcher jeder Körper mit jedem nachfolgenden gerieben positiv elektrisch wird.[2]) Doch ist die Giltig-

[1]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 1, S. 356, 1754. — [2]) Wilke, De electr. contrar., S. 54, 1757.

keit einer solchen Reihe für die Reibungselektricität wiederholt angefochten worden. Wilson glaubte 1760 das allgemeine Gesetz dahin formuliren zu können, dass von zwei aneinander geriebenen Körpern immer der weichere negativ elektrisch wird,[1]) und Tobern Olof Bergman, 1735 bis 1784, sprach 1764 die gleiche Behauptung für den wärmeren von zwei gleichartigen Körpern aus.[2]) Bergman zeigte ferner, dass von zwei vollkommen gleichen Stücken desselben Seidenbandes, von denen das eine kreuzweise über das andere hinweggezogen wird, das erstere negativ elektrisch wird. Cigna fand 1765, dass ein schwarzes seidenes Band mit einem weissen gerieben, ebenfalls immer negativ elektrisch erregt wird,[3]) und 1769 entdeckte Wilke, durch eine diesbezügliche Beobachtung Canton's[4]) aufmerksam gemacht, dass auch die Richtung des Streichens von Haaren über Glas auf die Art der entstehenden Elektricität von Einfluss sei.[5]) Coulomb fasste endlich alle diese verschiedenartigen Thatsachen in der Regel zusammen, dass dann, wenn keine wesentliche sonstige Verschiedenheit der Substanz in Betracht kommt, die grössere Beweglichkeit der Oberflächentheilchen oder die stärkere Erschütterung derselben den Ausschlag giebt, und zwar zur negativen Elektricität disponirt.[6])

70. Eine Reihe von anderen Untersuchungen bezog sich auf die Elektricitätserregung durch Druck oder

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 51, Th. 1, S. 331, 1760. — [2]) Phil. Trans., Bd. 54, S. 86, 1764; Abh. d. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 25, S. 344, 1763; Bd. 27, S. 132, 1765. — [3]) Miscell. soc. Turin., S. 31, 1765. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 148. — [5]) Abh. d. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 31, S. 317, 1769. — [6]) Biot, Traité de phys. expér., Th. 2, S. 352, 1816.

Trennung zweier Körper. Gray hatte schon 1731 entdeckt, dass geschmolzener Schwefel, Harz, Pech u. s. w. nach dem Erstarren elektrische Wirkungen zeigen.[1]) Wilke machte 1757 von neuem dieselbe Beobachtung und constatirte zugleich, dass die erstarrte Substanz dabei negativ und das Glas positiv elektrisch wird.[2]) Er bezeichnete diese scheinbar neue Elektricitätsquelle als die sogenannte freiwillige Elektricität. Aehnliche Versuche nahm darauf 1759 Aepinus mit geschmolzenem Schwefel in metallenen Bechern vor[3]) und Wilke selbst 1769 mit geschmolzenen Metallen in gläsernen Schalen.[4]) Eine andere Erregungsart entdeckte Aepinus 1759,[5]) indem er zwei Scheiben aus Spiegelglas und ebenso aus verschiedenen anderen Stoffen zusammenpresste und dann rasch von einander entfernte; sie wurden dadurch entgegengesetzt elektrisch. Libes fand ebenso 1802 eine Metallplatte bei leisem Aufdrücken auf Wachstaffet elektrisirt.[6]) Hauy zeigte 1818 das gleiche für viele Mineralien, unter denen der Kalkspath sogar schon durch den einfachen Druck der Finger ziemlich bedeutend elektrisch erregt wird;[7]) er benützte diese Eigenthümlichkeit zur Construction eines empfindlichen Elektroskopes. Canton[8]) und Wilson[9]) hatten bereits früher auch beim Schaben und Schneiden verschiedener Stoffe und Nicholson 1789 beim Spalten und Brechen eines Körpers elektrische Wirkungen er-

---

[1]) Phil. Trans., S. 285, 1732. — [2]) Wilke, De electr. contrar., S. 44, 1757. — [3]) Aepinus, Tentamen, S. 66, 1759. — [4]) Abh. d. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 31, S. 317, 1769. — [5]) Aepinus, Tentamen, S. 65, 1759. — [6]) Journal de Paris, an 13, S. 28, 1804. — [7]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 5, S. 95, 1817; Bd. 8, S. 383, 1818. — [8]) Saxtorph, Elektricitätslehre, Bd. 1, S. 539, 1803. — [9]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 49, 1800.

halten.[1]) A. C. Becquerel wies endlich am 20. März 1820 die Elektrisirung durch Druck und Trennung als allgemeine Regel nach[2]) und stellte mit Péclet 1834 die dafür geltenden Gesetze[3]) auf.

Eine strenge Erklärung all dieser verschiedenartigen Erscheinungen ist bisher noch nicht gegeben worden, doch ist der Grund derselben wohl in ähnlichen Verhältnissen, wie bei der Elektrisirung durch Reibung zu suchen.

71. Unmittelbar als Wirkung der Reibung lässt sich die Elektricitätsentwicklung in einer Anzahl von Fällen nachweisen, deren erster von Lichtenberg gelegentlich der Entdeckung der nach ihm benannten elektrischen Staubfiguren im Jahre 1777 beobachtet wurde.[4]) Besonders die diesbezüglichen Untersuchungen Cavallo's im Jahre 1780 zeigten, dass allgemein pulverförmige Körper miteinander geschüttelt oder durch ein Sieb gebeutelt ziemlich stark elektrisch werden.[5]) Villarsy gab auf Grund dieser Thatsache 1788 in einer Mittheilung an den Mechaniker Bienvenu ein Mittel an, um die Lichtenberg'schen Figuren zur leichten und sicheren Erkennung der Art der Elektricität zu benützen, indem er sie mit einem Gemisch von Mennige und Schwefel hervorbrachte, welche Stoffe beim Reiben verschieden elektrisch werden und daher an entgegengesetzt elektrisirten Stellen haften bleiben.[6]) Diese Methode ist später

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 79, S. 283, 1789. — [2]) Becquerel, Traité de l'électr., Bd. 2, S. 100, 1834. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 57, S. 337, 1834. — [4]) Lichtenberg, De nova methodo, 1777 und 1778. — [5]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 1, S. 389 und Th. 2, S. 3, 1797. — [6]) Journal général de France, Nr. 9, 1788.

namentlich von Riess,[1]) von Bezold[2]) und Anderen mit Erfolg zur Bestimmung des elektrischen Zustandes verwendet worden.

72. Wie die gegenseitige Reibung der Theilchen fester Körper, vermag auch der Anprall von Flüssigkeitstropfen gegen eine Wand Elektricität zu erzeugen. Die erste diesbezügliche Beobachtung wurde von Lavoisier und Laplace am 6. März 1781 der französischen Akademie der Wissenschaften mitgetheilt.[3]) Bei der Verdampfung von Wasser in einem eisernen Gefässe hatten sie den Dampf elektrisch gefunden. Begreiflicherweise hielten sie die Veränderung des Aggregatszustandes für die Ursache der Erscheinung. Die gleiche Ansicht äusserten Saussure[4]) und Volta[5]) und suchten daraus die Entstehung der atmosphärischen Elektricität herzuleiten. Pouillet zeigte aber 1825, dass reines Wasser und überhaupt ganz verdampfende Flüssigkeiten in Tiegeln, welche von diesen chemisch nicht angegriffen werden, keine Elektricitätserregung bewirken,[6]) und von Reich[7]) und Riess[8]) wurde 1846 die Reibung der Tropfen an den Wänden und an den beigemengten festen Bestandtheilen als die alleinige Ursache der Elektricitätsentwicklung bei der Verdunstung in chemisch nicht veränderlichen Gefässen nachgewiesen. Wenige Jahre vorher war durch einen Arbeiter in der Nähe von Newcastle im October 1840 die Wahrnehmung gemacht worden, dass

---

[1]) Riess, Reibungselektricität, 1853. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 143, S. 52, 1871. — [3]) Mém. de l'Acad. de Paris, Bd. 100, S. 292, 1781. — [4]) Saussure, Voyage dans les Alpes, Bd. 2, S. 227, 1786. — [5]) Volta, Meteor. Briefe, S. 206, 1793. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 35, S. 401, 1827. — [7]) Abh. bei Begründ. d. Sächs. Ges. d. Wiss. S. 197, 1846. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 69, S. 286, 1846.

bei gleichzeitiger Berührung des Kessels einer Dampfmaschine und des aus dem Sicherheitsventil ausströmenden Dampfes ein Funke mit einer Erschütterung erfolgt; der Mechaniker William George Armstrong, in Newcastle, geboren 1810, der die elektrische Natur der Erscheinung erkannte, untersuchte dieselbe näher[1]) und Faraday setzte 1843 durch eingehende Beobachtungen ausser Zweifel, dass sie durch die Reibung der im Dampf mitfortgeführten Flüssigkeitstropfen hervorgerufen werde.[2]) Armstrong gründete darnach auf dieses Princip die Construction einer neuen Elektrisirmaschine, welche die gewöhnlichen Reibungsmaschinen an Wirksamkeit weit übertrifft, dafür freilich an einer gewissen Gefährlichkeit und Umständlichkeit bei der Herrichtung leidet.[3]) Im Wesentlichen besteht sie aus einem isolirten Kessel, aus welchem der Dampf durch eigengeformte Mundstücke gegen einen Conductor mit Saugkamm strömt, so dass Conductor und Kessel dadurch entgegengesetzt geladen werden. Eine besonders grosse Maschine dieser Art wurde von Armstrong für das polytechnische Institut in London angeschafft; der Kessel derselben hat $3^1/_2$ Fuss (115 Centimeter) Durchmesser, $6^1/_2$ Fuss (210 Centimeter) Länge und 46 Ausflussöffnungen. Mit dieser Maschine konnten Funken von 22 Zoll (60 Centimeter) Länge erzeugt werden.

73. Die Untersuchung einer zu Beginn des vorigen Jahrhunderts in Europa bekannt gewordenen Erscheinung veranlasste die Entdeckung der elektrischen Ladung schlecht leitender Krystalle bei Temperaturveränderungen. Nach einer Mittheilung eines sächsischen Stabsarztes

[1]) Phil. Mag., Bd. 23, S. 321, 1843. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 60, S. 321, 1843. — [3]) Mech. Mag., Bd. 43, S. 64, 1845.

Daumius war im Jahre 1703 der Turmalin durch Holländer aus Ceylon nach Europa gebracht worden.[1]) Wahrscheinlich beim Prüfen seines Verhaltens im Feuer wurde bemerkt, dass dieser Edelstein erwärmt die leichte Asche von Kohlen anzieht und abstosst. Man bezeichnete ihn daher als Aschenzieher oder Aschenstrecker, hielt ihn aber merkwürdigerweise allgemein für eine Art Magnet. Linné gab ihm zuerst im Jahre 1747 in der Vorrede zu seiner „Flora Zeylonica" den Namen lapis electricus, doch ohne auf eine Begründung hiefür einzugehen. Erst Aepinus, durch den Bergrath Lehmann in Berlin veranlasst, erkannte 1756 die elektrische Natur des Steines und liess sich gemeinschaftlich mit Wilke auf eine genaue Untersuchung desselben ein.[2]) Er fand, dass der Turmalin regelmässig an zwei Seiten entgegengesetzt elektrisch wird und dass diese beiden Pole durch die innere Structur des Krystalles gegeben sind. Canton zeigte darauf 1758, dass nicht sowohl die erhöhte Temperatur selbst, sondern vielmehr die Veränderung derselben die Elektrisirung bedingt und dass diese bei steigender Temperatur jener bei sinkender entgegengesetzt ist.[3]) Einzelne Bruchstücke erhalten genau die entsprechende Polarität. Dieselben Eigenthümlichkeiten wurden von Canton 1760 am brasilianischen Topas beobachtet und 1762 bewies er die Gleichheit der Elektricitätsmengen an den beiden Polen. Canton's Resultate wurden von Bergman[4]) im März 1766 und von Wilke 1768 bestätigt und weiter ausgeführt.[5])

---

[1]) Curiöse Speculationes bei schlaflosen Nächten von einem Liebhaber, der immer gern speculirt, 1707. — [2]) Mém. de l'Acad. de Berlin, S. 105, 1756. — [3]) Gentlemans Magazine, Sept. 1758. — [4]) Abh. der Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 28, S. 58, 1766. — [5]) Abh. d. Schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 30, S. 3 u. 105, 1768.

74. Wesentlich gefördert wurde die Kenntniss dieser thermoelektrischen Erscheinungen durch René Just. Hauy, 1743 bis 1822,[1]) welcher dieselben an einer Anzahl anderer Krystalle auffand und am Boracit 4 Axen bemerkte, deren Enden bei Temperatur-Aenderungen entgegengesetzt polarisirt werden. Brewster,[2]) G. Rose,[3]) Riess[4]) und Andere erweiterten diese Untersuchungen auf eine ganze Menge von anderen Krystallen und von Wilhelm Gottlieb Hankel in Leipzig, geboren 1814, wurde, entgegengesetzt der Ansicht Hauy's, dass die Entstehung der Thermoelektricität in erster Linie durch den Mangel an Symmetrie in der Bildung der Krystalle bedingt sei, das Vorhandensein dieser Eigenthümlichkeit auf sämmtliche Krystalle ausgedehnt, welche irgend eine Verschiedenheit in den krystallographischen Axen besitzen.[5]) Hankel zeigte zugleich, dass nicht blos Temperaturveränderungen, sondern auch die Bestrahlung gewisser Krystalle durch eine Licht- oder durch eine Wärmequelle eine elektrische Polarisation derselben bewirkt (Photo- und Actino-Elektricität).[6]) Jacques und Pierre Curie haben 1880 analoge Vorgänge bei der Aenderung des Druckes von Krystallen beobachtet.[7]) Eine Uebersicht über die Entwicklung der Lehre von der Thermoelectricität der Krystalle wurde von Hankel im 15. Bande der Abhandlungen der königlich sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften gegeben.[8])

[1]) Mém. de l'Acad. de Paris, S. 206, 1785 etc. — [2]) Schweigger Journal, Bd. 43, S. 94, 1825. — [3]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1836. — [4]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1843. — [5]) Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 6, 8, 13, 14, 15, 18, 20; 1857 bis 1877. — [6]) Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 20, S. 203 u. 459, 1881. — [7]) Compt. rend., Bd. 91, 92, 93, 1880 u. 1881. — [8]) Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 15, S. 345.

Eine vollkommen befriedigende Erklärung all dieser Erscheinungen ist trotz vieler Versuche von Bergman, A. C. Becquerel, Gaugain, Thomson, Curie, Hankel und Anderen noch immer nicht gefunden.

Dreizehntes Capitel.

Die Wirkungen und Anwendungen der Spannungs-Elektricität.

75. Von den mannigfachen Wirkungen, welche durch elektrische Erscheinungen hervorgerufen werden, sind jene des Gewitters am längsten bekannt. Der Blitz und der Donner, das Versengen, Schmelzen und Zerschmettern der Körper, die Tödtung und Lähmung lebender Wesen sind sämmtlich Wahrnehmungen, die sich der Menschheit in der Erfahrung von jeher dargeboten haben. Hierzu gesellten sich noch im Alterthum die physiologischen Wirkungen der elektrischen Fische und die mechanischen Bewegungen, welche durch die Anziehungskraft des geriebenen Bernsteines veranlasst werden. Auch die Ummagnetisirung des Compasses durch Blitzschläge ist sehr bald nach Erfindung desselben im 11. Jahrhundert beobachtet worden. Schon in die Zeit der wissenschaftlichen Behandlung der Elektricitätslehre fällt jedoch die Wahrnehmung der elektrischen Abstossung, des Knisterns beim Reiben und des Leuchtens eines elektrisirten Körpers durch Guericke im Jahre 1663. Dieser folgte die Entdeckung des phosphorescirenden Lichtes in luftleeren Röhren durch Jean Picard 1675, sowie des eigenthümlich prickelnden Gefühls im Gesichte bei Annäherung desselben an einen elektrischen Körper durch

Hawksbee 1705. Der erste elektrische Funke wurde von Wall im Jahre 1708 beobachtet. Indessen erst mit der Ausbildung der Elektrisirmaschinen und der Entdeckung der Kleist'schen Flasche schritt die Kenntniss der Wirkungen der Elektricität rascher vorwärts. Es ist schon berichtet worden, dass Gordon die Spitzenwirkung zur Erzeugung einer mechanischen Bewegung im elektrischen Flugrad verwendete, dass verschiedene Flüssigkeiten und brennbare Stoffe durch Ludolff, Winkler und Gralath entzündet wurden, dass die heftigen Erschütterungen des menschlichen Körpers durch die Entladung der Kleist'schen Flasche einen ausserordentlichen Eindruck auf die Entdecker derselben machten. Auch der Tödtung kleiner Thiere durch Nollet und der ersten Beobachtung der chemischen Wirkung durch Krüger wurde Erwähnung gethan. Die physiologischen Wirkungen waren es, welche zuerst zu praktischen Zwecken verwendet wurden.

76. Kratzenstein in Halle[1]) war der erste, welcher im Jahre 1744 die Lähmung eines Fingers durch Elektrisiren zu heilen versuchte. Die angeblichen, mitunter geradezu staunenerregenden Erfolge, welche nach ihm Jallabert in Genf,[2]) Sauvage zu Montpellier,[3]) Bohadsch in Böhmen[4]) und Andere in vielen Fällen erzielt haben sollten, lenkten die allgemeine Aufmerkkeit auf diese neue Heilmethode hin und bald wurde die Elektricität von Berufenen und Unberufenen als eine Art Universalheilmittel gegen alle möglichen Krankheiten

[1]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 1, S. 294, 1747. — [2]) Jallabert, Expériences, S. 143. — [3]) Mangin, Hist. gén. et part. de l'électr., Th. 3, S. 36, 1752. — [4]) Phil. Trans., Bd. 50, Th. 1, S. 342, 1758.

in Anwendung gebracht. Vergebens bezweifelte Nollet den Nutzen derselben,[1]) vergebens wurden von Hart[2]) und Franklin[3]) Beispiele namhaft gemacht, wo sie sich geradezu als schädlich erwiesen hatte. Alle diese Proteste hatten nur die eine Wirkung, dass nach dem Vorgange Lovet's[4]) an Stelle der starken Schläge gelinde Erschütterungen und schwache Funken in Gebrauch genommen wurden. Lovet, Wesley, de Haën, Ferguson, Hartmann, Mauduyt und viele Andere erzielten mit diesem Verfahren in der That bemerkenswerthe Heilungen. Man benützte die Elektricität in verschiedenen Formen, als elektrisches Bad, als beständige Strömung oder „elektrischen Hauch" und als Funken mit Schlägen, besonders in verschiedenen Fällen von Nerven- und Muskellähmung, bei Rheumatismus, Scrophulose, Epilepsie u. s. w.; auch als Wiederbelebungsmittel für Scheintodte stand die Elektricität in hohem Ansehen. Von Cavallo sind in seiner „vollständigen Abhandlung der theoretischen und praktischen Lehre von der Elektricität"[5]) zahlreiche Krankheitsgeschichten gesammelt worden, in denen die Elektricität mehr oder weniger günstige Erfolge erzielte. Als man jedoch erkannte, dass man sich manch überschwänglichen Hoffnungen hingegeben hatte, und insbesondere als mit der Entdeckung des Galvanismus eine viel wirksamere und beständigere Elektricitätsquelle gewonnen war, wandte man sich von der Elektrisirmaschine und der Kleist'schen Flasche immer mehr ab und nur die Engländer bedienten sich

[1]) Nollet, Recherches sur l'électr., S. 412. — [2]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 2, S. 786, 1754. — [3]) Phil. Trans., Bd. 50, Th. 2, S. 481, 1758. — [4]) Lovet, Electr. rendred useful, 1760. — [5]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 76 bis 98, 1797.

ihrer bis in die Gegenwart, namentlich um bei Lähmungen Funken auf das Rückgrat übertreten zu lassen.[1])

77. Das Bestreben Franklin's, die Gleichheit des Blitzes mit der Elektricität nachzuweisen, veranlasste ihn zu zahlreichen Bemühungen, um die Wirkungen des ersteren durch diese in kleinerem Massstabe nachzuahmen. In der That gelang es ihm 1750 durch den Entladungsschlag die Polarität einer Magnetnadel bei geeigneter Lage derselben umzukehren oder doch wenigstens zu vernichten.[2]) Von Marum wurde indessen 1786 gezeigt, dass die mechanische Erschütterung beim Durchschlagen des Funkens die Hauptrolle spielt.[3]) Es ist diese Erscheinung daher mit jenen anderen Beobachtungen Franklin's zusammenzustellen, welche sich auf die Zersplitterung, Durchbohrung, Spaltung und die verschiedenen sonstigen mechanischen Wirkungen der Elektricität beim Durchgang durch schlechte Leiter beziehen. Ungefähr um dieselbe Zeit wurde auch das Zerbersten der Kleistschen Flaschen bei zu kräftigen Ladungen von Beraud, Nollet und Jallabert wahrgenommen.[4]) Von grösserer Bedeutung waren jedoch Franklin's Untersuchungen über die Erwärmung guter Leiter durch den elektrischen Funken, da er durch denselben nicht nur entzündbare Körper in Flammen setzte,[5]) wie es schon vor ihm die Deutschen gethan, sondern auch zuerst das Schmelzen von Metallen bewirkte, das für die Theorie und Praxis

---

[1]) Will. Gull, Guy's Hospital reports, Bd. 8, Th. 1, S. 80, 1852. — [2]) Franklin, Letters, S. 90. — [3]) Van Marum, Beschr. e. gr. Elektrisirmaschine, S. 37, 1786. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 129; Nollet, Lettres, Th. 1, S. 42, 1753. — [5]) Franklin, Letters, S. 48 u. 92.

später von grosser Wichtigkeit geworden ist.[1]) Kinnersley brachte ebenso 1764 auf elektrischem Wege zum erstenmal einen feinen Eisendraht zum Glühen und Zerfliessen.[2]) Beccaria that dasselbe mit Messingstaub und schmolz auch Glas und Borax.[3]) Priestley suchte 1766 auf den Vorschlag Franklin's die Leichtigkeit des Glühens und Schmelzens zum Vergleich der Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle zu benützen und stellte darnach eine Reihe für dieselben auf.[4]) Erst Snow Harris[5]) aber und noch vollständiger Riess[6]) gelang es in den Jahren 1830, respective 1837, die höchst wichtigen Beziehungen zu ermitteln, welche zwischen der Erwärmung eines Metalldrahtes und dem specifischen Widerstande desselben bestehen. Die gesammte Wärmemenge, welche durch eine bestimmte Entladung erzeugt wird, ist darnach der Menge und der Dichte der Elektricität proportional, aber unabhängig von der Natur des Schliessungskreises, ein Resultat, welches durch Clausius auf Grund theoretischer Betrachtungen 1852 bestätigt wurde.[7]) Riess bediente sich bei seinen Untersuchungen des von ihm verbesserten elektrischen Luftthermometers, welches Kinnersley im Jahre 1761 construirt hatte, um die durch Erwärmen erfolgte Ausdehnung der Luft beim Durchschlagen eines elektrischen Funkens zu messen.[8]) In der ursprünglichen Einrichtung bestand dasselbe aus einem luftdicht verschlossenen, theilweise mit Wasser

[1]) Franklin, Letters, S. 48 u. 65. — [2]) Phil. Trans., Bd. 54, 1764. — [3]) Beccaria, Lettere dell' elett., S. 257, 1767. — [4]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 486. — [5]) Phil. Trans., Bd. 157, S. 18, 1827. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 40, S. 335, 1837; Bd. 43, S. 49 u. Bd. 45, S. 1, 1838. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 86, S. 337, 1852. — [8]) Franklin, Letters, S. 389.

gefüllten Gefäss, auf dessen Boden eine enge Röhre hinabreicht und durch welches mittelst zweier einander gegenüberstehender Drähte die Entladung geschickt wird; durch die Ausdehnung der Luft wird die Flüssigkeit in die Röhre hinaufgetrieben. Riess ersetzte die beiden getrennten Drähte durch einen einzigen und erwärmte somit die Luft mittelbar, indem er den Draht durch den elektrischen Schlag zum Glühen brachte.

78. Die Erzeugung hoher Temperaturen bei elektrischen Entladungen kann mit grossem Erfolg zum Sprengen von Felsen, Losbrennen von Minen, Ausroden von Wurzelstöcken u. s. w. durch Entzünden explosiver Stoffe benützt werden. Obwohl aber die Möglichkeit dieser Anwendung der Elektricität durch die genannten Beobachtungen principiell schon seit Franklin's Zeiten festgestellt war, wurden praktische Versuche in dieser Richtung merkwürdigerweise erst nach mehr als zwei Menschenaltern unternommen. Snow Harris entzündete 1823 durch isolirte Leitungsdrähte Schiesspulver, Shaw bediente sich in Amerika 1831 einer Glas-Elektrisirmaschine zur Felsensprengung und ebenso Thomson 1843 in Schottland.[1]) Erwähnenswerth sind ferner die Versuche des Wiener Mechanikers Karl Winter auf einer 15.600 Fuss (nahezu 5000 Meter) langen Strecke der Semmering-Bahn 1845.[2]) Eine praktische Einrichtung wurde den Minen-Zündmaschinen von Gätschmann gegeben. Für militärische Zwecke rührt die älteste Construction von dem damaligen Major im k. k. Geniestabe Freiherrn von Ebner aus dem October

---

[1]) Zenger, Spannungselektr., S. 202. — [2]) Hessler-Pisko, Technische Physik, Th. 1, S. 506, 1866.

1855 her.[1]) Durch eine Reibungs-Elektrisirmaschine mit zwei Spiegelglasscheiben wird eine Kleist'sche Flasche geladen, deren Belegungen durch Drehung eines metallischen Winkelhebels mit der Leitung verbunden werden können. Im Jahre 1859 wurde dieser Apparat von Baron Ebner compendiöser und transportabler gestaltet, um auch für den Felddienst verwendbar zu sein. Eine andere Modification aus dem Jahre 1869 mit einem Hartgummicylinder an Stelle der Scheiben wurde schon 1874 durch den auch jetzt noch in der österreichischen Armee gebräuchlichen Feld-Zündapparat des technischen und administrativen Militär-Comités ersetzt, bei welchem wieder Scheibenmaschinen in Verwendung sind. Derselbe gestattet bis 300 Minen zugleich zu entzünden. Zu civiltechnischen Zwecken steht in Deutschland und Frankreich vielfach ein Apparat von Bornhardt in Gebrauch.[2]) Die Influenzmaschinen haben bisher bei Zündapparaten wenig Verwendung gefunden, da sich ihre Wirksamkeit schwer präcisiren lässt und deshalb ihre Benützung grössere Sachkenntniss erfordert. Eine Verbindung der Reibungs- und Influenzmaschine findet sich beim „Influenz-Sprengapparat" von Zenger.[3])

79. Von den elektrischen Lichterscheinungen wurde zu Franklin's Zeiten hauptsächlich der schon 1705 von Hawksbee bemerkte phosphorescirende Schimmer untersucht, welcher beim Ausströmen der Elektricität in luftleeren Räumen auftritt. Gottfried Heinrich Grummert aus Biala in Polen machte um 1750 den Vorschlag, denselben in Bergwerken und an anderen feuergefährlichen

[1]) Hess, Die Naturwiss. im Dienste des Kriegs, S. 174, 1878. — [2]) Wächter, Anw. d. Elektr. f. milit. Zwecke, S. 72. — [3]) Zenger, Spannungselektr., S. 206.

Orten zur Beleuchtung zu verwenden,[1]) jedenfalls der erste Gedanke dieser Art. Zahlreiche Versuche über das elektrische Glimmen luftleerer Röhren wurden in den Jahren 1751 und 1753 von Watson,[2]) Smeaton[3]) und Canton[4]) angestellt und Wilson glaubte 1759 aus dem Auftreten desselben an einer von den beiden Oberflächen einer Quecksilbersäule bestimmen zu können, welche von den Elektricitäten Du Fay's im Franklin'schen Sinne die positive sei.[5]) Miles[6]) und Nollet[7]) beobachteten 1745 das Ausströmen der Elektricität bei starken Spannungen, wie dasselbe schon von Guericke 1663 bemerkt worden war. Wilke meinte 1757 beim Glimmen der Spitzen einen Unterschied zwischen beiden Elektricitäten wahrzunehmen[8]) und Beccaria wollte daraus die Bewegungsrichtung des elektrischen Fluidums nach der Franklin'schen Anschauung ermitteln. Die Erscheinung des Büschellichtes veranlasste Watson 1753, das Elmsfeuer als mit demselben identisch zu erklären.[9]) Eine ähnliche Hypothese war schon früher von Professor Eberhart in Halle und Paul Ferisi in Pisa aufgestellt worden. Sie wurde von Canton, Franklin, Beccaria und Anderen weiter ausgebildet und erhielt bald allgemein Anklang.

Der elektrische Funke wurde erst von Priestley 1766 genauer untersucht und sein Spectrum im Allge-

---

[1]) Gralath, Gesch. d. Elektr., Th. 2, S. 417, 1754. — [2]) Phil. Trans. abridg., Bd. 10, S. 290. — [3]) Wilson, Essay, S. 216. — [4]) Phil. Trans., Bd. 48, S. 356, 1754. — [5]) Phil. Trans., Bd. 51, Th. 1, S. 308, 1760. — [6]) Phil. Trans. abridg., Th. 10, S. 272. — [7]) Mém. de l'Acad. de Paris, 1742. — [8]) Wilke, De electr. contrar., S. 132, 1757. — [9]) Phil. Trans., Bd. 48, Th. 1, S. 210, 1754.

meinen mit dem des Sonnenlichtes übereinstimmend gefunden.[1]) Wollaston erkannte jedoch 1802,[2]) dass dasselbe vielmehr aus einer Reihe von hellen und dunklen Linien zusammengesetzt ist, welche nach Frauenhofer[3]) und Wheatstone[4]) von einem Uebergange glühender Theilchen zwischen den beiden Entladungsstellen herrühren. Masson[5]) zeigte, dass die Natur des Mediums dabei von keinem wesentlichen Einfluss ist, während Faraday[6]) für das Büschel- und Glimmlicht das Gegentheil beobachtete. Durch ein sinnreiches elektrisches Photometer ermittelte Masson ferner die Abhängigkeit der Lichtstärke des Funkens von den übrigen Entladungsverhältnissen. Wheatstone suchte 1834 mit Hilfe eines rotirenden Spiegels die Dauer des Entladungsfunkens zu ermitteln und fand sie nicht grösser als $\frac{1}{1152000} = 0{\cdot}000000868$ einer Secunde.[7]) Aehnliche Bestimmungen wurden später von Felici und Cazin vorgenommen. Nach Wheatstone's Methode wurden 1858 überhaupt sämmtliche Vorgänge bei der Entladung von Feddersen eingehend studirt.[8]) Wheatstone selbst benützte sein Verfahren auch, um die Geschwindigkeit der Elektricität in Leitern zu messen;[9]) er liess zu diesem Zwecke Funken an mehreren Unterbrechungsstellen eines langen Leitungsdrahtes in verschiedenen Richtungen überspringen und beobachtete die gegenseitige Verschiebung ihrer Bilder in einem rotiren-

---

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 484. — [2]) Phil. Trans., Bd. 92, S. 380, 1802. — [3]) Abh. d. Akad., d. Wiss. zu München, 1817. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 36, S. 148, 1835. — [5]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 31, S. 295, 1826; Bd. 45, S. 385, 1830. — [6]) Phil. Trans., 1838. — [7]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 583, 1834. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 103, S. 169, 1858. — [9]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 583, 1834.

den Spiegel. Er fand dadurch die Geschwindigkeit in einem Kupferdrahte gleich 288.000 englischen Meilen (460.000 Kilometer) in der Secunde. Grossartige Versuche mit langen Telegraphendrähten wurden hierüber 1848 von Walker in Amerika[1]) und zwei Jahre später von Mitchel[2]) und Gould[3]) unternommen; sie erhielten weit geringere Zahlen, nämlich 15.780, respective 28.524 und 15.890 englische Meilen (25.000, 45.000 und 25.000 Kilometer) per Secunde. Die Benützung unterbrochener Ströme durch Fizeau und Gounelle 1850[4]) und durch Guillemin und Burnouf 1854[5]) ergab wieder grössere Werthe, nämlich 178.000 Kilometer. Die letzten diesbezüglichen Bestimmungen wurden 1875 von W. Siemens gemacht und ergaben über 30.000 geographische Meilen (250.000 Kilometer) in der Secunde.[6]) Die geringe Geschwindigkeit von 4300 Kilometer, welche bei der Verwendung des unterseeischen Kabels zwischen London und Brüssel gefunden wurde, findet in der von Siemens 1849 entdeckten Ladung einer solchen Leitung durch Influenzwirkung ihre Erklärung.[7]) Mit der grossen Geschwindigkeit der Elektricität hängt ihre Anwendung zur Telegraphie zusammen.

80. Die Beobachtungen Winkler's, Le Monnier's und Watson's über die ausserordentlich rasche Fortpflanzung des elektrischen Funkens durch grosse Strecken mussten den Gedanken wachrufen, dieselbe zur Vermittlung von Zeichen in die Ferne zu verwenden.

---

[1]) Silliman Journ., Bd. 8, S. 142, 1849. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 80, S. 161, 1850. — [3]) Krönig Journ., Bd. 3, S. 1, 1850. — [4]) Compt. rend., Bd. 30, S. 139, 1850. — [5]) Compt. rend., Bd. 39, S. 330, 1854. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 157, S. 309, 1876. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 79, S. 481, 1850.

In der That wurde die erste Anregung hierzu schon im Jahre 1753 gegeben. In einem aus Renfrew in Schottland vom 1. Februar datirten und mit den Buchstaben C. M. unterzeichneten Schreiben machte ein unbekannter Verfasser, als den man Charles Marshall vermuthet hat, den Vorschlag, durch eine Anzahl von isolirten Metalldrähten, die den einzelnen Buchstaben des Alphabets entsprechen, daran angebrachte Kugeln zu elektrisiren und dadurch kleine Papierstückchen anziehen zu lassen, so dass buchstabenweise telegraphirt werden kann.[1]) Aber erst George Louis Lesage in Genf construirte 1774 einen derartigen Apparat und benützte an Stelle der Anziehung die Divergenz von je zwei nebeneinanderhängenden Hollundermarkkügelchen.[2]) Die Menge der Drähte liess indessen diese Einrichtung sehr kostspielig erscheinen und Lomond suchte daher 1787 denselben Zweck durch Combination verschiedener Ausschläge eines Kugelpaares mit Hilfe eines einzigen Drahtes zu erreichen.[3]) Allein dieser Versuch litt wieder an dem Uebelstand, dass dazu die Erregung ganz bestimmter Elektricitätsmengen erforderlich ist. Reiser wollte deshalb 1794 mit Stanniol punktirte Buchstaben auf Glasplatten durch den elektrischen Funken beleuchten[4]) und Boeckmann und Salva brachten im Jahre 1796 zu diesem Zwecke die Combination mehrerer in verschieden grossen Zwischenräumen überspringenden Funken in Vorschlag. Auf Grund dieses Principes wurde von letzterem 1798 für den Gebrauch des Königs von Spanien in der Nähe von Madrid in der

---

[1]) Scot's Magazine, Bd. 15, S. 88, 1753. — [2]) Moigno, Traité de télégraphie électr., 1842. — [3]) A. Young, Travels in France, Bd. 1, S. 79. — [4]) M. M. v. Weber, Telegraphen- und Signalw. d. Eisenb., S. 12, 1867.

That eine ziemlich befriedigende Telegraphenverbindung eingerichtet.[1]) Cavallo rieth 1797 an Stelle der Elektrisirmaschinen die Entladung einer Kleist'schen Flasche zu verwenden,[2]) ein anderes Project von Bétancourt rührt aus dem Jahre 1787 her und noch 1816 und 1823 war Sir F. Ronalds eifrig bemüht, die Reibungselektricität telegraphischen Zwecken dienstbar zu machen, indem er durch die Drehung einer Scheibe die verschiedenen Buchstaben des Alphabets vor einer Oeffnung erscheinen und durch das Auffallen von Hollundermarkkügelchen in der gewünschten Reihenfolge bezeichnen liess.[3]) Da ausserdem auch Vorschläge auftauchten, die Entzündung brennbarer Substanzen und die chemischen Wirkungen des Funkens zu benützen, waren alle Mittel erschöpft, die sich damals zur Ausführung dieser Bestrebungen darboten. Die Unzuverlässigkeit der Reibungselektricität und die Schwierigkeit der Beobachtung des rasch verschwindenden Funkens musste indessen alle darauf abzielenden Bemühungen vereiteln und erst die magnetisirende Wirkung des galvanischen Stromes machte eine wirklich erfolgreiche telegraphische Verwendung der Elektricität möglich.

81. Von den chemischen Wirkungen der Elektricität war der eigenthümliche Geruch, der sich bei der Verwandlung des Sauerstoffes in Ozon bildet, am frühesten bemerkt worden, wenn auch die Ursache desselben damals nicht erkannt wurde. Er zeigte sich so unzertrennlich von den elektrischen Entladungen, besonders in Büschelform, dass ihn Priestley 1766 geradezu als charakteristisches

[1]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Th. 1., S. 46, 1853. — [2]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 2, S. 377, 1797. — [3]) Ronalds Electric telegr., 1824; Moigno, Télégr., S. 62, 1852.

Merkmal eines elektrischen Körpers anführte.[1]) Direct als chemische Veränderung wurde zuerst die Färbung rother Mohnblätter in dem Versuche Krüger's betrachtet. Die nächsten Entdeckungen wurden 1758 von Beccaria gemacht.[2]) Derselbe zersetzte durch den elektrischen Funken das Zinnober und beobachtete zuerst die Gasbläschen, welche beim Durchgang der Elektricität durch Wasser von den Drahtenden aufsteigen; es gelang ihm ferner, mehrere Metalle aus ihren Oxyden oder, wie man sich damals ausdrückte, aus ihren „Kalken" wieder herzustellen. Priestley bemerkte darauf 1766 an den von dem Funken getroffenen Stellen einer Metallplatte mehrere farbenglänzende Ringe, die er richtig von der Oxydation herleitete.[3]) In gleicher Weise wurde auch der schwarze Staub, den er bei Entladungen erhielt, von ihm als Oxydationswirkung oder, in seiner Sprache, als „Verbindung des Metallkalks mit dem Phlogiston" erklärt. Er nahm beim Durchschlagen des Funkens durch die Luft eine bedeutende Verminderung ihres Volumens wahr; diese wurde von Cavendish 1781 auf die Bildung von Salpetersäure zurückgeführt.[4]) Van Marum wiederholte mit Paets van Troostwyk 1785 die Versuche Beccaria's und Priestley's an seiner grossen Maschine.[5])

Im Jahre 1789 machten endlich Paets van Troostwyk und Deimann die grosse Entdeckung von der Zusammensetzung des Wassers, indem es ihnen gelang, durch die wiederholte Wirkung elektrischer Schläge

---

[1]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 285. — [2]) Beccaria, Lettere dell' elettr., S. 282, 1767. — [3]) Priestley, Gesch. d. Elektr., S. 466. — [4]) Phil. Trans., Bd. 75, S. 372, 1785 und Bd. 78, S. 260, 1788. — [5]) Van Marum, Beschreibung e. gr. Elektrisirmaschine, S. 25, 1786.

dasselbe in seine Bestandtheile zu zerlegen und das entstehende Gasgemisch durch den Funken wieder zu Wasser zu vereinigen.[1]) Durch diese Versuche wurde endgiltig der alte Streit zwischen der phlogistischen Theorie und jener Lavoisier's zu Gunsten der letzteren entschieden. Wollaston zersetzte 1801 Salzlösungen,[2]) indem er den Strom der Elektrisirmaschine andauernd durch feine Spitzen in die Flüssigkeit treten liess. Faraday that 1823 das gleiche für verschiedene Salzverbindungen und zeigte, dass der basische Bestandtheil der chemischen Verbindung stets an dem negativen, der säuerliche am positiven Draht hervortritt.[3]) Grove's zahlreiche Versuche liessen 1847 als unmittelbare Ursache der Wasserzersetzung die ausserordentliche locale Erhitzung erscheinen;[4]) von ihm und Anderen wurden auch viele organische Verbindungen durch den Entladungsschlag zersetzt. In neuester Zeit haben die chemischen Wirkungen der Spannungs-Elektricität auch praktische Verwerthung durch Erzeugung von Ozon in der Färberei und Bleicherei gefunden. Diesbezügliche Apparate rühren von Siemens und von Thénard her.[5])

Von anderen Wirkungen der Elektricität seien hier nur noch die zahlreichen Untersuchungen erwähnt, welche im vorigen Jahrhundert namentlich von Nollet,[6]) Cavallo[7]) und van Marum[8]) über den Einfluss des Elektrisirens auf Puls, Hautausdünstung u. s. w. an

---

[1]) Gren Journ., Bd. 2, S. 130, 1791. — [2]) Ann. de. Chim., Bd. 40, S. 169, 1801. — [3]) Phil. Trans., Bd. 1, S. 127, 1828. — [4]) Phil. Trans., 1847. — [5]) Zenger, Spannungselektr., S. 232. — [6]) Nollet, Recherches, S. 356. — [7]) Cavallo, Abh. v. d. Elektr., Th. 1, S. 41, 1797. — [8]) Van Marum, Beschr. e. gr. Elektrisirmaschine, S. 20, 1786.

thierischen Körpern und nach dem Vorgange von Maimbray im September 1746 von Nollet,[1]) Jallabert,[2]) Runeberg[3]) u. s. w. über die Beschleunigung des Wachsthums der Pflanzen durch Elektricität angestellt wurden.

Eine neue Epoche der Elektricitätslehre begann 1789 mit der Entdeckung Galvani's, dass Froschschenkel in der ersten Zeit nach der Tödtung durch elektrische Schläge ausserordentlich erregbar sind.

---

[1]) Phil. Trans. abridg., Bd. 10, S. 383. — [2]) Beccaria, Elettricismo artif. e natur., S. 125, 1753. — [3]) Abh. d. schwed. Akad. d. Wiss., Bd. 19, S. 15, 1757.

II. Abschnitt.

Geschichte der galvanischen Erscheinungen.

Erstes Capitel.

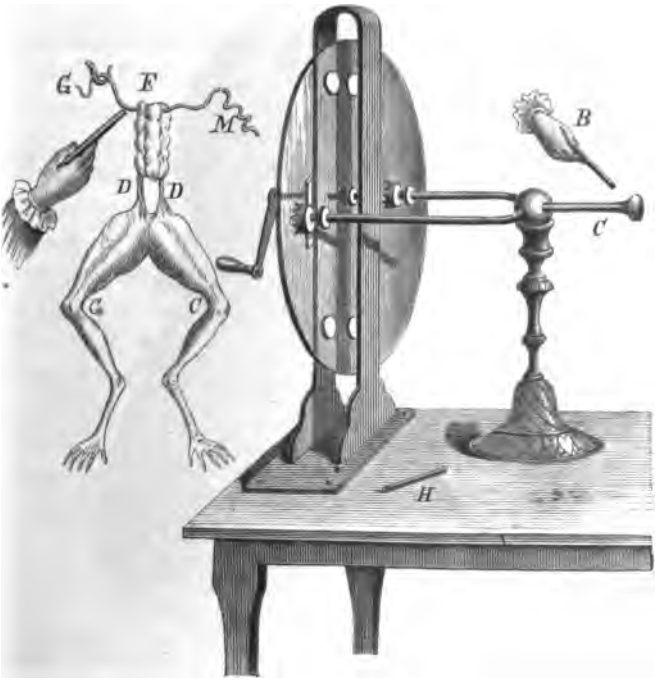
Entdeckung der galvanischen Erscheinungen.

82. Im Jahre 1789 wurde durch Zufall in Bologna die Beobachtung gemacht, dass ein frisch secirter Froschschenkel mit entblösstem Schenkelnerv, der durch die Spitze eines Messers ableitend berührt wurde, in lebhafte Zuckungen gerieth, so oft aus dem Conductor einer benachbarten Elektrisirmaschine Funken übersprangen (Fig. 18). Der Professor der Anatomie Aloysius Galvani, 9. September 1737 geboren und 4. December 1798 gestorben (Fig. 19), in dessen Wohnung die Entdeckung erfolgte, erblickte mit Recht den Ursprung und die Ursache dieser Bewegungen in der elektrischen Entladung des Conductors.[1]) In der That war schon 1779 durch den Lord Charles Mahon Stanhope, 1753 bis 1816, die gewaltsame Wiedervereinigung der in einem Körper durch Influenz gebundenen

[1]) Galvani, Abh. üb. d. Kräfte d. thier. Elektr., deutsch von Mayer, S. 21, 1793.

Elektricitäten bei plötzlicher Ableitung der influenzirenden beobachtet und mit dem Namen des elektrischen Rückschlages bezeichnet worden.[1]) Galvani studirte die neue Erscheinung der Erregbarkeit der Froschschenkel näher,

Fig. 18.



Versuch von Galvani.

ermittelte genau die Bedingungen für deren Eintreten und suchte sie unter den verschiedensten Umständen, namentlich auch mit Hilfe der atmosphärischen Elek-

[1]) Mahon, Principles of Electr., Abschn. 8, 1789.

gemacht hatte, die bis dahin jedoch weder verstanden, noch beachtet worden war, dass nämlich durch die gleichzeitige Berührung zweier verschiedener Metalle untereinander und mit der Zunge eine eigenthümliche Geschmacksempfindung veranlasst wird. Volta bemerkte aber auch, dass dieser Geschmack verschieden war, je nachdem welches Metall er mit der Spitze und welches er mit der Zunge in Berührung brachte, und dass er während der ganzen Dauer der Berührung anhielt. Indem er darauf mehrere Personen einen Schliessungskreis bilden liess, zeigte er, dass die genannten physiologischen Empfindungen und ebenso die Froschzuckungen nur dann eintreten, wenn zwei sich berührende verschiedene Metalle der Kette angehören, dass aber jeder künstlich erzeugte Unterschied zwischen zwei gleichen Stücken desselben Metalles schon dazu ausreicht. Damit war erwiesen, dass für die Galvani'schen Erscheinungen der Ursprung durchaus nicht in einer besonderen „thierischen Elektricität", ja selbst nicht einmal in der Berührung des Metalles mit dem Froschschenkel zu suchen sei, sondern dass sie einzig und allein durch die gegenseitige Berührung der Metalle hervorgebracht werde. Mit Hilfe des Condensators gelang es ihm auch, die elektrische Ladung zweier Metallplatten in Folge ihrer gegenseitigen Berührung durch das Elektroskop ersichtlich zu machen.[1]) Eine andere Methode, ihre Wirkungen zu verstärken, führte ihn auf die weittragende Erfindung der nach ihm benannten Säule, am Ende des Jahres 1799.[2])

Schon 1792 hatte Robison die durch Berührung erzeugte elektrische Spannung dadurch zu erhöhen gesucht,

---

[1]) Volta, Collez. dell opere, Bd. 2, S. 59. — [2]) Phil. Trans., S. 403, 1800.

dass er Zink- und Silberstücke abwechselnd nebeneinander reihte; er fand dadurch angeblich „den Reiz beträchtlich vermehrt".[1]) Doch muss dieses Wunder nehmen, da bei der Berührung der benachbarten Plattenpaare die elektrischen Spannungen unmittelbar zum Ausgleich gelangen. Volta trachtete dies zu vermeiden und verband deshalb die Paare durch feuchte Leiter, z. B. durchnässte Tuchlappen, wässerige Lösungen u. dgl. Je nachdem man hierzu feste oder flüssige Zwischenleiter wählt, unterscheidet man diese Apparate jetzt als Säulen- und als Becher-Elemente. Beide Formen rühren von Volta her. Alle Wirkungen wurden dadurch erheblich gesteigert. 60 Becher gaben schon heftige Erschütterungen. Der neue Apparat wurde von Volta als „Elektro-Motor" bezeichnet, später sind die Namen galvanische Kette oder Batterie in Aufnahme gekommen. Volta benützte dessen Aehnlichkeit mit den elektrischen Organen der Zitterfische, um daraus eine Theorie der letzteren abzuleiten.

84. Durch seine Entdeckungen hatte Volta die namentlich von Giovanni Aldini[2]) und Alexander von Humboldt[3]) lebhaft vertheidigte Hypothese Galvani's von einem animalischen Ursprung der Elektricität als irrig erwiesen. Seine Arbeiten führten ihn vielmehr dazu, die gegenseitige Berührung verschiedener Metalle in Verbindung mit einem feuchten Zwischenleiter als die wesentliche Bedingung zur Elektricitätsentwicklung zu betrachten. Auf diese Thatsache gestützt, gab er eine neue Erklärung der galvanischen Erscheinungen in der sogenannten Contact-Theorie. Nach derselben äussern alle Körper, insbe-

[1]) Monroe und Fowler, Abh. üb. d. thier. Elektr., S. 178, 1796. — [2]) Aldini, Mem. intorno all' elett. anim., 1794. — [3]) Humboldt, Ueber d. gereizte Muskel- u. Nervenfaser, 1797 u. 1799.

sondere aber Metalle, bei Berührung eine Wechselwirkung auf ihre beiderseitigen Elektricitäten in der Art, dass eine Scheidung derselben eintreten muss. Die dabei thätige „elektromotorische Kraft" ist nicht für alle Körper dieselbe; namentlich zeigen Flüssigkeiten unter sich und in Verbindung mit anderen Körpern nur geringe elektrische Spannungen. Sie müssen deshalb als „Leiter zweiter Art" von den Metallen, verschiedenen Kohlenarten, Graphit u. s. w. unterschieden werden. Alle diese „Leiter erster Art" dagegen lassen sich nicht nur in eine „Spannungsreihe" derart ordnen, dass jedes frühere Glied gegen irgend ein späteres positiv erscheint, sondern befolgen auch das eigenthümliche Gesetz, dass die elektromotorische Kraft für irgend zwei von ihnen stets die gleiche ist, mögen sie sich unmittelbar berühren oder eine Anzahl anderer Glieder der Spannungsreihe zwischen ihnen eingeschaltet sein. In einem geschlossenen Kreise, dem nur solche Leiter erster Art angehören, kann es daher zu keiner elektrischen Strömung kommen; dagegen ist dies der Fall, sobald man Leiter der zweiten Art als Zwischenschicht verwendet, indem dann durch diese die bei der Berührung der ersten Leiter erzeugten Spannungen zum Ausgleich gelangen. Hierauf ist die Wirksamkeit der Kette gegründet.

Diese neue Theorie wurde von Volta in zwei Vorträgen im Pariser Nationalinstitut am 7. und 21. November 1801 auseinandergesetzt und von einer hierzu bestellten Commission mit Jean Baptiste Biot als Referenten durch eingehende Wiederholung der sogenannten Fundamentalversuche Volta's geprüft und bestätigt.[1]) Der Sieg über

[1]) Ann. de Chim., Bd. 40, S. 225, 1801; Gilbert Ann. Bd. 11, S. 389, 1802.

Galvani's Anschauungen war damit entschieden und der ziemlich heftige Streit, der bis dahin zwischen den Anhängern beider Richtungen geführt worden war, zu Gunsten Volta's beendigt.

85. Die Arbeiten Volta's wurden namentlich von Johann W. Ritter in Jena, 1777 bis 1810, und dem Kieler Professor Christian Heinrich Pfaff, 1773 bis 1852, erfolgreich weitergeführt. Die Spannungsreihe wurde durch sie wesentlich erweitert und revidirt. Dabei wurde von Ritter die Bemerkung gemacht, dass die Metalllegirungen durchaus nicht, wie man erwarten sollte, zwischen den Metallen stehen, aus denen sie gebildet sind,[1]) und Pfaff bewies, dass Volta die Elektricitätserregung durch Flüssigkeiten unterschätzt hatte, indem ihre Wirkung bei gegenseitiger Berührung wie im Contact mit Metallen zuweilen ebenso stark, ja selbst stärker als die der Metalle ist.[2]) Die Eintheilung der Leiter in solche erster und zweiter Classe darf somit nicht nach dem Maasse der entwickelten Elektricität erfolgen, sondern es muss ihr vielmehr die Giltigkeit des Spannungsgesetzes für dieselben zu Grunde gelegt werden. Aehnliche Untersuchungen sind ausserdem von Seebeck,[3]) Péclet,[4]) Buff[5]) und Anderen angestellt worden. Die erste genaue Bestimmung der numerischen Werthe der Spannungsdifferenzen mit Hilfe des von ihm verbesserten Dellmann'schen Elektrometers rührt von R. Kohlrausch,[6])

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 16, S. 293, 1804. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 51, S. 110 u. 197, 1840. — [3]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 295, 1822. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 2, S. 233, 1841. — [5]) Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 42, S. 5, 1842 u. Bd. 45, S. 137, 1844. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 82, S. 1, 1851; Bd. 88, S. 465, 1853.

die vollständigste von Hankel her.[1]) Von Fechner wurde zum Spannungsgesetz noch das sogenannte Gesetz der Ableitung gefügt,[2]) nach welchem sich die Dichten der freien Elektricitäten verkehrt wie die Oberflächen der beiden Metallplatten verhalten. Eine grosse Anzahl von anderen Untersuchungen hat die Verhältnisse im geschlossenen Stromkreis zum Gegenstande gehabt.

86. Wie schon Volta bemerkte, ist zur Entwicklung eines Stromes die Gegenwart von mindestens einem flüssigen Leiter erforderlich. Es ergiebt sich daraus als die nächstliegende Art der Stromerzeugung die Combination einer Flüssigkeit mit zwei Metallen, wie dieselbe durch Volta in seiner Säule zur Anwendung gelangte. Ueber die elektromotorische Kraft, welche in solchen Ketten thätig ist, sind zahlreiche Messungen angestellt worden, die namentlich von Poggendorff,[3]) Davy,[4]) Faraday[5]) und Anderen herrühren. Von Davy wurde zuerst die Verbindung zweier Flüssigkeiten mit einem Metalle untersucht, indem er Metallscheiben zwischen je zwei Tuchlappen legte, von denen einer mit Wasser, der andere mit verdünnter Salpetersäure getränkt war.[6]) Eine andere Combination von Platin, Kalilauge und Salpetersäure wurde unter dem Namen pile à oxygène von A. C. Becquerel gebildet.[7]) Die elektromotorischen Kräfte solcher Ketten sind nur von Fechner,[8]) Poggendorff,[9])

---

[1]) Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 6, S. 1, 1861 u. Bd. 7, S. 585, 1865. — [2]) Fechner, Lehrbuch d. Phys., Bd. 3, S. 27. — [3]) Oken „Isis", Heft 8, S. 706, 1821. — [4]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 408, 1826. — [5]) Faraday, Exper. researches, § 2012, Phil. Trans., 1840. — [6]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 390, 1802. — [7]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 23, S. 244, 1823. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 48, S. 1 u. 225, 1839. — [9]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 364, 1841.

Buff[1]) und wenigen Anderen bestimmt worden. Ein gleiches ist bei Strömen zwischen drei Flüssigkeiten der Fall. Dieselben wurden zuerst in voller Reinheit von Nobili beobachtet.[2]) Diesbezügliche Messungen rühren von du Bois-Reymond,[3]) R. Kohlrausch,[4]) Wild[5]) und besonders von Worm-Müller[6]) her. Sehr zahlreiche Bestimmungen der elektromotorischen Kräfte wurden dagegen bei den zuerst von A. C. Becquerel hergestellten[7]) Combinationen aus zwei Flüssigkeiten mit zwei Metallen unternommen, von denen einige als constante Säulen für die Praxis die grösste Wichtigkeit erlangt haben. Es seien hier nur Poggendorff,[8]) Buff,[9]) Beetz[10]) und Régnauld[11]) erwähnt. Alle diese untereinander ziemlich schwer vergleichbaren, für die Anwendung aber höchst werthvollen Messungen sind von Wiedemann in seiner „Lehre von der Elektricität"[12]) in sehr umfassender und kritischer Weise zusammengestellt worden. Rein theoretische Bedeutung haben dagegen die von Grove erfundenen sogenannten Gasketten,[13]) welche auf der elektromotorischen Wirkung von Metallen auf die an ihrer Oberfläche condensirten Gase beruhen. So wurde von Grove ein Element construirt, welches aus Platinblechen besteht, die ab-

[1]) Pogg. Ann., Bd. 63, S. 497, 1844. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 38, S. 239, 1828. — [3]) Archiv f. Path. u. Physiol., S. 453, 1867. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 79, S. 200, 1850. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 103, S. 353, 1858. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 140, S. 114, 1870. — [7]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 41, S. 22, 1829. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 427, 1841. — [9]) Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 92, S. 117, 1854; Bd. 150, S. 13, 1869. — [10]) Pogg. Ann., Bd. 90, S. 42, 1853. — [11]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 44, S. 453, 1855. — [12]) Wiedemann, Lehre v. d. Elektr., Bd. 1, S. 651 bis 729, 1882. — [13]) Phil. Mag., Bd. 14, S. 129, 1839 und Bd. 21, S. 136, 1842.

wechselnd in Wasserstoff und in Sauerstoff getaucht sind. Diesbezügliche Bestimmungen sind ausser von Grove selbst[1]) namentlich von Beetz[2]) gemacht worden.

87. Einen wesentlichen Punkt in der von Volta gegebenen Theorie bildete die Behauptung von der Identität der galvanischen mit den elektrischen Erscheinungen. Dieselbe war von Volta schon im Jahre 1793 ausgesprochen worden,[3]) aber erst nach der Erfindung der Säule gelang es, dafür die experimentellen Beweise zu erbringen.

Nachdem Volta selbst die ersten Funken aus einem metallischen Schliessungskreis mit Hilfe des Condensators erhalten hatte,[4]) beobachteten Nicholson und Carlisle in London, von welchen die nächsten Versuche mit der Säule angestellt wurden, 1800 direct den Funken, der bei der Schliessung der Kette auftritt,[5]) und Ritter entdeckte 1801 einen ähnlichen Funken bei der Oeffnung des Stromkreises, wobei er bemerkte, dass dieser letztere lebhafter und leichter zu erhalten ist als jener.[6]) Ritter war es auch,[7]) der gleichzeitig mit Pfaff[8]) zuerst das wesentlichste Kennzeichen elektrischer Erregung, die Anziehung und Abstossung, an den Enden einer offenen Säule wahrnahm. Er führte für diese letzteren den Namen galvanische Pole ein und bezeichnete als positiv elektrisch speciell jenen Pol, welcher am Elektroskop positive Elektricität anzeigt, von dem somit bei Schluss der Kette die positive Elektricität durch den Schliessungsdraht

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 359, 1845. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 77, S. 493, 1849. — [3]) Phil. Trans., Bd. 83, S. 1, 1793. — [4]) Gilbert Ann., Bd. 4, S. 343, 1800. — [5]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 179, 1800. — [6]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 351, 1801. — [7]) Gilbert Ann., Bd. 8, S. 390, 1801. — [8]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 489, 1801.

zum anderen Pol überströmt. Pfaff hatte übrigens schon früher beobachtet, dass Kohlenstäubchen am Leitungsdraht sich aufrichten.[1]) Als daher Cruikshank mit Hilfe des galvanischen Stromes eine Kleist'sche Flasche geladen hatte,[2]) als Simon, Erman und andere Physiker in Berlin entzündliche Substanzen durch ihn in Brand gesteckt hatten[3]) und als Ritter sogar die Darstellung der Lichtenberg'schen Figuren in Quecksilber gelungen war,[4]) schien die Identität der beiderseitigen Erscheinungen zweifellos. Aehnliche Gründe für dieselbe wurden am 14. August 1801 im Pariser Nationalinstitut von Biot vorgebracht.[5]) Die wenigen noch vorhandenen Bedenken widerlegte Volta bei seinem zweiten Vortrag in dieser Versammlung am 21. November 1801 durch die Bemerkung, dass der andauernde elektrische Strom der Säule von grosser Quantität, aber von nur geringer Spannung sei, so dass seine Wirkungen daher vollkommen mit denen einer sehr grossen Batterie von bedeutender Capacität, aber schwacher Ladung verglichen werden könnten,[6]) eine Ansicht, welche einige Zeit vorher auch schon von Nicholson geäussert worden war.[7]) Ihren Abschluss fanden diese Erörterungen durch die grossartigen Versuche, welche Pfaff und van Marum Ende November 1801 mit den beiden Elektrisirmaschinen im Teyler'schen Museum zu Harlem anstellten und bei welchen sie die völlige Gleichheit der thermischen und chemischen Wirkungen, sowie der Spannungs-

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 7, S. 247 u. Bd. 8, S. 132, 1801. — [2]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 254, 1800. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 7, S. 485, 1801. — [4]) Gilbert Ann., Bd. 8, S. 285 u. Bd. 9, S. 265, 1801. — [5]) Gilbert Ann., Bd. 10, S. 24, 1802. — [6]) Ann. de Chim., Bd. 40, S. 225, 1801. — [7]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 241, 1800.

erscheinungen beider Elektricitätsquellen endgiltig nachwiesen.[1]) Die letzten scheinbar erheblichen Einwände, welche Alexander von Humboldt vorgebracht hatte, wurden zu gleicher Zeit von Erman widerlegt.[2])

Zweites Capitel.

Die chemischen Wirkungen des galvanischen Stromes.

88. Von den begleitenden Erscheinungen des galvanischen Stromes waren nächst den physiologischen, welche seine Entdeckung veranlasst hatten, besonders die chemischen überaus auffallend. Sie wurden ziemlich früh schon wahrgenommen. Noch vor dem Auftreten Volta's hatte 1792 der Director des Museums der Naturgeschichte und Physik in Florenz Giovanni Fabbroni, geboren 13. Februar 1752, gestorben 17. December 1822, die Beobachtungen Galvani's auf einen chemischen Ursprung zurückführen wollen.[3]) Er stützte sich dabei auf einige Wahrnehmungen, nach welchen Zinn und ebenso das Quecksilber in Berührung mit anderen Metallen eine sehr schnelle Oxydation erfahren, während das in reinem Zustande nicht der Fall ist. Er schrieb dem entsprechend auch die bemerkten physiologischen Wirkungen einem chemischen Einfluss zu, der in der Verbindung der beiden Metalle seinen Ursprung haben sollte. Die elektrischen Vorgänge sollten dabei nur secundär sein, ohne sich auf das Wesen der Erscheinung selbst zu beziehen. Er suchte diese Ansicht dadurch zu

[1]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 220, 1802. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 143, 1802. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 4, S. 428, 1799.

beweisen, dass er zeigte, dass von zwei in Wasser getauchten Metallen das leichter oxydirbare bei gegenseitiger Berührung sofort oxydirt. Noch vor dem Bekanntwerden von Fabbroni's Untersuchungen beobachtete Ash in Oxford die gleiche Erscheinung an einer Zink-Silber-Kette, in welcher Wasser als feuchter Leiter benützt wird. Alexander von Humboldt, 1769 bis 1859, wiederholte 1795 den Versuch und bemerkte dabei Wasserstoffblasen, die an der Silberplatte aufstiegen. Er stand nicht an, diese Erscheinung durch eine erfolgte Zersetzung des Wassers zu erklären; zugleich sprach er die Vermuthung aus, dass wahrscheinlich alle galvanischen Vorgänge von chemischen Veränderungen begleitet sein dürften.[1])

89. Humboldt's Ansicht von der Zerlegung des Wassers durch den galvanischen Strom war zunächst eine blosse Hypothese. Bewiesen wurde sie erst im Mai 1800 durch methodische Untersuchungen von Sir Antony Carlisle und William Nicholson,[2]) welche rasch von Cruikshank,[3]) Davy,[4]) Robertson,[5]) Ritter[6]) und vielen Anderen wiederholt wurden. William Cruikshank, 1745 bis 1800, dehnte dieselben zuerst auch auf verschiedene Säuren und wässerige Lösungen von Salzen aus.[7]) Es gelang ihm dabei, aus Lösungen von Kupfervitriol, Silbernitrat und anderen Flüssigkeiten schöne krystallinische Niederschläge von Kupfer, Silber, Gold, Blei und Schwefel zu erhalten, eine Thatsache, aus

---

[1]) Humboldt, Gér. Musk. u. Nerv., Bd. 1, S. 472, 1797. — [2]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 179, 1800. — [3]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 187, 1800. — [4]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 275 u. 326, 1800. — [5]) Journal de Paris, an 8, Nr. 362, 18. Sept. 1800. — [6]) Gilbert Ann., Bd. 6, S. 270, 1800. — [7]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 254, 1800.

welcher sich später die Galvanoplastik entwickelt hat. Cruikshank zersetzte ferner Lösungen von Talk- und Thonerde, Kalkwasser u. s. w. und machte auf den

Fig. 20.

Humphry Davy.

grossen Nutzen aufmerksam, welchen die Volta'sche Säule durch derartige Versuche der analytischen Chemie würde leisten können. Die glänzendsten Erfolge auf diesem Gebiete, welche der genannten Wissenschaft in der That eine

ausserordentliche Förderung bringen sollten, erzielte aber Sir Humphry Davy, Professor an der Royal Institution in London, am 17. December 1778 geboren und 30. Mai 1829 gestorben (Fig. 20), von dem die eingehendsten und bedeutendsten Untersuchungen dieser Art herrühren.

Schon Ritter hatte die Behauptung ausgesprochen, dass jede Flüssigkeit durch den elektrischen Strom müsse zersetzt werden können. Zu ähnlichen Folgerungen war Davy im Zusammenhange mit seinen theoretischen Anschauungen gelangt, nämlich zu der Vermuthung, dass sich die chemischen Verbindungen in flüssigem Zustande durch elektrische Einwirkung zerlegen lassen müssten. Nachdem ihm dies bereits bei den wässerigen Lösungen verschiedener Metallsalze gelungen war, versuchte er daher auch im November 1807 bei den Alkalien, welche schon seit Antoine Laurent Lavoisier[1]), 1743 bis 1794, ziemlich allgemein für Sauerstoffverbindungen gehalten wurden, eine ähnliche Zersetzung durch den Strom zu bewirken. Seine Bemühungen wurden von Erfolg gekrönt. Aus geschmolzenem Aetzkali schieden sich am negativen Pol kleine quecksilberartige, metallisch glänzende Kügelchen ab, die er als Kalium bezeichnete.[2]) In ähnlicher Weise erhielt er aus Aetznatron das Natrium und, indem er dieselbe Methode auf die alkalischen Erden und Magnesiumsalze anwandte, im Jahre 1808 noch das Calcium, Strontium, Baryum und Magnesium als neue Metalle,[3]) nachdem Berzelius und Pontin auf die blosse Nachricht von seinen Versuchen schon kurz vorher in Bezug auf die drei erstgenannten zu den

[1]) Lavoisier, Traité élém. de Chim., S. 176, 1789. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 30, S. 369, 1808 u. Bd. 31, S. 113, 1809; Phil. Trans., S. 1, 1807. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 31, S. 176, 1808; Phil. Trans., S. 1, 1808.

gleichen Resultaten gekommen waren. Davy's Verfahren hat für die Chemie hohe Bedeutung erlangt. Davy selbst gelang es noch 1818, das Lithium auf diesem Wege darzustellen und 1852 geschah durch Bunsen dasselbe für das Aluminium. Namentlich von Bunsen und Mathiessen sind dann in den Jahren 1854 und 1855 die genannten Metalle durch den galvanischen Strom in grösseren Mengen abgeschieden worden.[1])

90. In engem Zusammenhang mit Davy's Untersuchungen über die Zersetzung chemischer Verbindungen stehen die theoretischen Ansichten, welche er sich über sie gebildet hatte. Die eigenthümliche Erscheinung, dass bei Zerlegung des Wassers die Bestandtheile desselben an den Polen getrennt auftreten, musste die Aufmerksamkeit der Physiker schon bei ihrer Entdeckung in hohem Grade erregen. In der That wurde bereits 1800 von Cruikshank eine ziemlich naheliegende Erklärung hiefür zu geben gesucht.[2]) Darnach sollte die Zersetzung des Wassers an den Eintrittsstellen des Stromes erfolgen, in der Weise, dass sich der Strom beim Uebergange aus dem Metall in die Flüssigkeit des Sauerstoffs bemächtigt und ihn durch diese zum anderen Pol überführt, wo er ihn wieder freilässt. Die Bewegungsrichtung der Sauerstofftheilchen ist nun aber der des positiven Stromes gerade entgegengesetzt. Dies veranlasste Fourcroy, Vauquelin und Thenard, die Betrachtung Cruikshank's insoweit zu modificiren, als nach ihnen vielmehr der Wasserstoff mit dem galvanischen Fluidum vom positiven zum negativen Pol überströmen sollte.[3]) Aehn-

[1]) Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 82, S. 137, 1852; Bd. 93, S. 277, 1855; Bd. 94, S. 107, 1855. — [2]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 254, 1800. — [3]) Mech. Encyclop., Bd. 6, S. 371, 1801.

liche Meinungen wurden von Erdmann,[1]) Bostock[2]) und noch 1857 von Schönbein[3]) geäussert. Darnach müsste jedoch der Gehalt der Flüssigkeit an Säure in der Nähe der positiven Elektrode geringer werden, was der Erfahrung widerspricht. Diesem Einwande entging Monge, indem er die Zersetzung gleichmässig an beiden Elektroden stattfinden lassen wollte;[4]) an dem einen Pol sollte darnach Wasserstoff, am anderen Sauerstoff vom Wasser absorbirt werden und dadurch der andere Bestandtheil frei werden. Aber auch diese Erklärung konnte sich nicht halten, als J. J. Berzelius und W. Hisinger[5]) auf Grund ihrer Versuche die Behauptung aussprachen, dass alle Salze durch den Strom zerlegbar seien, derart dass der Sauerstoff und die Säuren am positiven, der Wasserstoff, die Alkalien, Metalle und gewisse Metalloxyde am negativen Pol abgesetzt werden. Dieser Satz, den Davy bei allen seinen Untersuchungen bestätigt fand,[6]) wurde von ihm einer neuen Theorie der Elektrolyse zu Grunde gelegt. Nach dieser wird längs der ganzen Leitung, die durch die Elementartheilchen der Flüssigkeit gebildet wird, eine Zersetzung dadurch hervorgerufen, dass die elektrisirten Metallplatten auf gewisse Bestandtheile der Verbindung anziehende, auf die anderen abstossende Kräfte ausüben, deren Wirkung sich von Theil zu Theil durch die ganze Flüssigkeit fortpflanzt, so dass sie eine Reihe von Zersetzungen und Wiedervereinigungen der benachbarten Theilchen zur Folge hat.

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 218, 1802. — [2]) Nicholson Journ., Bd. 2, S. 296, 1802. — [3]) Verhandl. d. naturf. Ges. in Basel, Bd. 1, S. 32, 1857. — [4]) Mech. Encyclop., Bd. 6, S. 375, 1801. — [5]) Hisinger und Berzelius, Afhandl. i Fisik, Kami och Mineralogie, 1806. — [6]) Phil. Trans., S. 1, 1807.

Auf diese Weise lässt sich die gesonderte Abscheidung der Radicale an den beiden Polen erklären.

91. Davy's Erklärung der Elektrolyse hat für die Chemie eine ausserordentliche Bedeutung erlangt. Um nämlich die Wirkung der elektrischen Kräfte auf die Elementartheile der Flüssigkeit zu begründen, machte er die Annahme, dass diese sich selbst wie die beiden Elektricitäten verhalten, ja dass chemische Verwandtschaft und elektrische Wechselwirkung geradezu identisch seien. Diese Anschauung wurde 1812 mit einigen Modificationen von Jöns Jakob Berzelius, geboren 29. August 1779, gestorben 7. August 1848, zur Grundlage einer Theorie der chemischen Processe ausgebildet.[1]) Nach derselben würde das Wesen der chemischen Verbindung in einer elektrischen Anziehung der verschieden polarisirten Elemente bestehen und die Erscheinungen der Wahlverwandtschaft durch die Wechselwirkung der anziehenden und abstossenden elektrischen Kräfte bedingt sein. Die verschiedene Polarität der Elemente suchte Berzelius aus der Elektricitätsentwicklung bei chemischen Verbindungen und Zersetzungen und aus der 1806 von Erman[2]) gemachten Beobachtung herzuleiten, dass gewisse Körper sich in Bezug auf die Leitbarkeit unter Umständen verschieden gegen die beiden Elektricitäten verhalten. Im Unterschiede von Davy nahm er aber an, dass diese Polarität den Körpern keineswegs eigenthümlich sei, sondern sich erst im Augenblicke der Berührung entwickle, so dass sich ein und derselbe Körper bald positiv, bald negativ elektrisch zeigt. Der elektrischen Spannungsreihe entsprechend, lässt sich eben auch eine elektrochemische Reihe aufstellen. Obwohl

[1]) Gilbert Ann., Bd. 42, S. 37, 1812; Berzelius, Lehrb. der Chem., Th. 5, 1845. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 22, S. 4, 1806.

diese elektrochemische Theorie, welche namentlich durch die Hypothese der zusammengesetzten Radicale von Liebig und Wöhler 1832 sehr unterstützt wurde, im Laufe der Zeit manche Veränderung erfuhr und schliesslich bei der weiteren Entwicklung der Chemie ihre allgemeine Geltung verloren hat, ist sie doch für die Ausbildung der Wissenschaft von grosser Bedeutung gewesen und hat zu ihrer Förderung wesentlich beigetragen.

92. Bevor Davy seine Ansichten über die Vorgänge bei galvanischen Zersetzungen darlegte, waren schon 1805 ziemlich verwandte Betrachtungen von dem deutsch-russischen Gutsbesitzer Theodor Freiherrn von Grotthuss, geboren 20. Januar 1785, gestorben 14. März 1822, angestellt worden,[1]) welche sich allmählich weite Verbreitung und mit einigen, allerdings wesentlichen Abänderungen allgemeine Aufnahme errungen haben. Nach dieser Theorie laden sich die Elemente einer Verbindung in Folge ihrer Berührung ebenfalls entgegengesetzt elektrisch, durch die Anziehung oder Abstossung von den elektrisirten Metallplatten richten sie sich zunächst nach entgegengesetzten Seiten und, wenn die Spannung gross genug ist, erfolgt ihre Trennung; die Elektricitäten der an den Polen gelegenen Theilchen neutralisiren sich mit den entgegengesetzten der Elektroden, die in der Mitte befindlichen Theilchen dagegen gehen mit den ihnen benachbarten in Folge ihrer entgegengesetzten elektrischen Ladungen neue Verbindungen ein, welche durch die Einwirkung der Elektroden wieder umgelagert werden. Die Zersetzung dauert demnach so lange, als elektrische

[1]) Ann. de Chim., Bd. 58, S. 65, 1806 und Bd. 63, S. 34, 1807; Grotthuss, Phys.-chem. Betracht., S. 115, 1820.

Kräfte an den beiden Polen thätig sind. Im Wesentlichen sind diese Anschauungen auch von Davy geäussert worden. Während aber letzterer die Fortpflanzung der Scheidungen und Verbindungen durch die Flüssigkeitstheilchen nur allmählich vor sich gehen liess und dabei auch die Möglichkeit für nicht ausgeschlossen erklärte, dass die an den Polen gelegenen Theilchen ohne diese Vermittlung direct aufeinander wirken, legte Grotthuss darauf Gewicht, dass alle Theile der Flüssigkeit sich gleichzeitig richten, trennen, aneinander verschieben und wieder vereinigen, und führte die Theorie des ganzen Vorganges in allen ihren Einzelheiten klar und consequent durch.

93. Nach Davy war es vornehmlich Michael Faraday, Professor der Royal Institution in London, geboren 22. September 1791, gestorben 25. August 1867 (Fig. 21), welcher die Erkenntniss der elektrochemischen Beziehungen wesentlich förderte. Vor Allem schuf er zu Beginn des Jahres 1834 eine exacte und logisch begründete Nomenclatur, welche die Beschreibung der einschlägigen Erscheinungen abkürzte und erleichterte. Von ihm rühren die Benennungen: Elektrolyse für die chemische Zersetzung, Elektrolyt für die zu zersetzende Substanz her, ferner die Ausdrücke: Elektroden für die beiden metallischen Pole, und zwar Anode für die Eintritts-, Kathode für die Austrittsstelle des positiven Stromes rücksichtlich der Flüssigkeit und endlich Anion und Kation für die an diesen Stellen ausgeschiedenen Jonen oder Bestandtheile der flüssigen Verbindung.[1]) Bezüglich der bei der Elektrolyse erhaltenen chemischen Producte machte Faraday auf den Unterschied zwischen

[1]) Faraday, Exper. research., § 663, Phil. Trans, 1834.

der unmittelbar durch den Strom bewirkten Zersetzung und den secundären Vorgängen aufmerksam, welche durch die im Augenblicke der Zersetzung besonders lebhaften chemischen Kräfte der primär abgeschiedenen Sub-

Fig. 21.

Michael Faraday.

stanzen veranlasst werden. Ein sicheres Erkennungszeichen in dieser Beziehung wurde freilich erst später von Hittorf gegeben, dass nämlich die primären Zersetzungsproducte an beiden Elektroden getrennt erscheinen, die secundären hingegen an derselben Elektrode nebeneinander auftreten. Der von Faraday blos als Vermuthung geäusserte Satz, dass

nur solche binäre Verbindungen zersetzt werden könnten, welche aus gleichen Aequivalenten ihrer Grundstoffe bestehen,[1]) wurde von Becquerel als falsch erwiesen.

94. Schon in der ersten Zeit nach Erfindung der Säule war von Robertson in Paris am 18. September 1800 der Vorschlag gemacht worden, die Stärke des elektrischen Stromes nach der Menge des von ihm zersetzten Wassers zu beurtheilen.[2]) Es lag diesem Verfahren stillschweigend die Voraussetzung zu Grunde, dass die Stromintensität der erzielten chemischen Wirkung proportional sei. Von Simon in Berlin wurde 1801 das Volumen des entwickelten Knallgases hierzu verwendet,[3]) während Maréchaux 1802 es vortheilhafter fand, zu diesem Zwecke blos das Quantum des erzeugten Wasserstoffes zu berücksichtigen.[4]) Wegen der theilweisen Absorption des Gases durch die Flüssigkeit leiden jedoch alle diese Methoden an einer gewissen Unvollkommenheit. G. Bischof zog es daher 1828 vor, vielmehr die Zeit zu ermitteln, während welcher eine bestimmte Wassermenge zersetzt wird.[5]) Trotz dieser zahlreichen Bemühungen war jedoch ein exacter Nachweis, dass die elektrolytische Kraft des Stromes im directen Verhältnisse zu der absoluten Quantität der durch die Flüssigkeit gehenden Elektricitätsmenge steht, noch immer nicht geliefert worden. Erst Faraday zeigte dies, indem er die Unabhängigkeit der chemischen Wirkung von dem Volumen der Elektroden, der Menge des Elektrolyten und den übrigen hierbei in Betracht kommenden Ver-

[1]) Faraday, Exper. research., § 851, Phil. Trans., 1834. — [2]) Journal de Paris, an 8, Nr. 362, 18. Sept. 1800. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 8, S. 28, 1801. — [4]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 123, 1802. — [5]) Schweigger Journ., Bd. 52, S. 230, 1828.

hältnissen durch genaue Versuche feststellte, und verlieh dadurch der Strommessung auf elektrochemischem Wege erst ihre volle wissenschaftliche Berechtigung. In dem von Faraday construirten „Volta-Elektrometer" oder, wie er es auch kürzer nannte, „Voltameter" wurde das in einem luftdicht verschlossenen Gefässe entwickelte Knallgas in einer graduirten Glasröhre aufgefangen und seine Menge durch das Volumen gemessen.

Im Laufe der Zeit erfuhr Faraday's Apparat mannigfache, mehr oder minder werthvolle Abänderungen. So liess Auguste de la Rive 1837 die Flüssigkeit durch den Druck des Gases in einer Röhre in die Höhe treiben und bestimmte dadurch die entwickelte Gasmenge.[1]) Das gleiche Princip wurde von Roberts in Anwendung gebracht, indem er das Gasgemisch in dem einen Schenkel eines communicirenden Gefässes auffing und die Flüssigkeit in dem anderen emporsteigen liess.[2]) Daniell zog es vor, die beiden Gase zu trennen[3]) und Poggendorff bediente sich einer ähnlichen Vorrichtung, indem er die Mischung der beiden Gasarten durch engmaschige Drahtgeflechte oder poröse Thonwände zu hindern suchte.[4]) Poggendorff zeigte mit diesen Apparaten, deren äussere Gestalt er mannigfach modificirte, dass der Strom durch die Elektrolyse am wenigsten geschwächt wird, wenn man Platin-Elektroden in verdünnter Schwefelsäure anwendet; in dieser Zusammensetzung hat das Voltameter am meisten Verbreitung gefunden. Neuere Apparate rühren von Bunsen[5]) und Edison[6]) her.

[1]) Pogg. Ann., Bd. 40, S. 378, 1837. — [2]) Sturgeon Ann. of Electr., Bd. 4, S. 401, 1839. — [3]) Pogg. Ann., Ergänzungsbd. 1, S. 565, 1840. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 55, S. 277, 1842 und Bd. 70, S. 182, 1847. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 91, S. 620, 1854. — [6]) Elektrotechn. Zeitschr., Bd. 3, S. 127, 1882.

95. Indem Faraday mit Hilfe seines Apparates die Untersuchungen über das Verhältniss der chemischen Wirkungen zur Stromintensität auf andere Elektrolyte ausdehnte, entdeckte er das höchst wichtige Gesetz der bestimmten Verhältnisse in allen elektrochemischen Vorgängen, welches mit dem von Berzelius und Davy gefundenen Princip der polaren Zersetzung die Grundlage für die gesammte Elektrochemie bildet. Nach diesem verhält sich die Menge des zerlegten Elektrolyts bei gleicher Stromstärke genau wie das chemische Aequivalent des betreffenden Stoffes.[1]) Die Richtigkeit dieses Fundamentalsatzes ist später namentlich durch Daniell,[2]) Buff,[3]) Soret[4]) und durch die eingehenden Arbeiten von Hittorf[5]) bestätigt worden, von dem überhaupt die genauesten und vollständigsten Untersuchungen sämmtlicher Vorgänge bei der Elektrolyse herrühren.

Faraday's elektrolytisches Grundgesetz wurde von A. C. Becquerel zur Bestimmung der Stromstärke durch Zersetzung von Metalllösungen angewendet.[6]) Er unterwarf zu diesem Zwecke Kupfervitriol, Zinkvitriol und salpetersaures Silber der Elektrolyse. Mit dem letztgenannten Metallsalz hat dann Poggendorff das sehr genaue Silber-Voltameter construirt, bei welchem die Menge des ausgeschiedenen Silbers als Massstab für die Stromstärke dient.[7]) Dasselbe ist frei von den Fehlern der

---

[1]) Phil. Trans., S. 675, 1833 u. S. 77, 1834. — [2]) Phil. Trans., S. 97, 1839 und S. 209, 1840. — [3]) Ann. d. Chem. und Pharm., Bd. 85, S. 1, 1853. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys, Bd. 42, S. 257, 1854. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 89, S. 177, 1853; Bd. 98, S. 1, 1856; Bd. 103, S. 1, 1858; Bd. 106, S. 337, 1861. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 42, S. 307, 1837. — [7]) Wiedemann, Elektr., Bd. 2, S. 490, 1882.

Wasserzersetzungsapparate, welche hauptsächlich durch die Absorption der Gase und die Bildung von Wasserstoff-Superoxyd hervorgerufen werden, und zeichnet sich vor der Benützung anderer Metallsalze durch das grosse specifische Gewicht und die leichte und vollkommene Ausscheidung des Silbers aus.

Als sogenanntes Voltaskop ist endlich von Faraday die Anwendung von Papierstreifen vorgeschlagen worden, welche mit Jodkalium und Stärkekleister getränkt sind. Dieselben zeigen durch die Färbung beim Ausscheiden des Jod die chemische Wirkung an und bieten ein sehr empfindliches Mittel zum Erkennen des Stromes. Zur Messung seiner Stärke, wie sie Osann vornehmen wollte,[1]) leisten sie aber doch nur ungenügende Dienste.

96. Durch seine Untersuchungen über die elektrochemische Wirkung der Ströme kam Faraday zu Anschauungen über die Beschaffenheit derselben, welche von den bisherigen wesentlich abwichen. Im Gegensatz zu seinen Vorgängern, welche die Ursache dieser Erscheinung in einer anziehenden oder abstossenden Kraft der Elektroden gesucht hatten, wollte Faraday dieselbe in den zu zersetzenden Substanzen selbst erblicken.[2]) Es sollten in diesen gleich grosse Kräfte nach entgegengesetzten Richtungen thätig sein, welche die Elemente des Elektrolyts nach den beiden Polen zu hinbewegen. Die Wirkungen sollten also nicht durch äussere Kräfte erfolgen, sondern in der Flüssigkeit selbst ihren Ursprung haben, indem eine gewisse Veränderung in der

---

[1]) Osann, Anwend. d. hydroelektr. Stroms, S. 5, 1842. — [2]) Faraday, Exper. research., §. 1, Phil. Trans., 1834.

chemischen Verwandtschaft der Bestandtheile vor sich geht. Die Annahme, dass diese inneren Kräfte in der Verbindungslinie der beiden Pole thätig sind, erklärte Faraday für überflüssig. Die Trennungen und Zersetzungen können in allen möglichen Richtungen stattfinden, nur werden ihre Wirkungen erst an den Elektroden ersichtlich.[1])

97. Faraday's Theorie der Zersetzung wurde von seinen Zeitgenossen wenig beachtet; den meisten erschien sie unklar und ziemlich unverständlich. Dagegen verschaffte sich die Auffassungsweise von Davy und Grotthuss immer grösseren Anhang. Die Umgestaltung in den Ansichten über die Constitution der Körper, welche durch die mechanische Wärmetheorie gegen Ende der Fünfziger-Jahre hervorgerufen wurde, veranlasste jedoch auch eine Veränderung in diesen Anschauungen und merkwürdigerweise gerade im Sinne Faraday's. Rudolf Clausius, geboren 2. Januar 1822, wurde nämlich darauf aufmerksam, dass nach der Theorie von Grotthuss eine bestimmte Grösse der Scheidungskraft erforderlich wäre, um die Trennung der Jonen und damit die Zersetzung zu bewirken; dann aber würde diese auch sofort mit ziemlicher Lebhaftigkeit beginnen. Dem widerspricht die Erfahrung, da schon die geringste Kraft einen durch abwechselnde Zersetzungen und Wiederverbindungen geleiteten Strom zur Folge hat. Um diesen Widerspruch zu heben, machte daher Clausius eine Annahme, welche mit den erwähnten Ansichten über die Körperconstitution in vollkommenem Einklang ist. Nach dieser bewegen sich die Moleküle und ihre Bestandtheile schon vor Beginn des Stromes in

[1]) Phil. Trans., S. 675, 1833.

allen möglichen Richtungen aneinander vorüber. Die Theilmoleküle oder Jonen sind unveränderlich mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen. Kommen dieselben in ihren Bahnen einander zu nahe, so erfolgen Zersetzungen und Wiederverbindungen, gerade so wie sie früher ausschliesslich für den Zustand der galvanischen Zersetzung angenommen wurden. Durch die Thätigkeit des Stromes werden nun diese Oscillationen nur geregelt, so dass sich die entgegengesetzt elektrischen Jonen vorzugsweise in bestimmten Richtungen bewegen. Bei zu grosser Annäherung an die Elektroden erfolgt dann die Abscheidung derselben. Diese Theorie, welche von Clausius im Jahre 1857 ausgesprochen wurde,[1]) hat sich ziemlich allgemein Anklang verschafft. Durch dieselbe werden die Vorgänge bei der Elektrolyse in Uebereinstimmung mit den übrigen physikalischen Anschauungen klar und ungezwungen in einer Weise erklärt, welche bis zu gewissem Grade auch den dunklen Ahnungen Faraday's zu entsprechen geeignet ist. Die seither noch geltend gemachten Ansichten sind entweder weitere Ausführungen dieser Theorie oder neben dieser nur von geringerer Bedeutung.

98. Bei den zahlreichen Versuchen, welche Faraday zur Prüfung seines elektrolytischen Gesetzes anstellte, zeigte sich nur bei der Zersetzung des Wassers eine auffallende Ausnahme. Statt nämlich das erwartete Verhältniss des Wasserstoffs zum Sauerstoff gleich 2 : 1 zu finden, erhielt er oft sogar Werthe, welche nahezu doppelt so gross waren. Die Erklärung dieser Erscheinung rief in der gelehrten Welt kein geringeres

[1]) Pogg. Ann., Bd. 101, S. 338, 1857.

Aufsehen hervor, als irgend eine andere der epochemachenden Entdeckungen.

Bereits im vorigen Jahrhundert hatte man bei der Thätigkeit der Elektrisirmaschinen und bei Blitzschlägen einen eigenartigen Geruch wahrgenommen, welchen man schon seit Franklin[1]) fast allgemein einer durch die Elektricität bewirkten Zersetzung zuschrieb, ohne der Sache auf den Grund zu kommen. Aber erst im Jahre 1840 wurde derselbe von C. F. Schönbein auch bei der Volta'schen Kette entdeckt.[2]) Eingehende Versuche führten ihn darauf, dass derselbe stets nur an der positiven Elektrode, und zwar auch nur dann auftritt, wenn Sauerstoff daselbst frei entbunden wird. Die Umstände, unter denen er ihn zur Wahrnehmung oder zum Verschwinden brachte, liessen ihn vermuthen, dass die Ursache desselben ein dem Chlor, Brom und Jod ähnlicher einfacher Körper sein müsse, den er als Ozon bezeichnete. Die Einwendungen, welche von A. de la Rive und Anderen dagegen erhoben wurden, suchte er mit unermüdlichem Eifer durch neue Untersuchungen zu widerlegen. So kam es denn, dass er 1856 einen zweiten ähnlichen Stoff auffand, das Antozon, welches zu dem ersteren in einem chemischen und elektrischen Gegensatze steht.[3]) Durch die Erörterungen und Versuche von Marignac,[4]) Meissner,[5]) Andrews und Tait,[6]) Soret[7]) und Clausius,[8]) in erster Linie aber von

[1]) Franklin, Letters, S. 84, 1749. — [2]) Denkschriften d. Akad. d. Wiss. zu München, Bd. 3, Abth. 1, S. 257, 1840. — [3]) Verhandl. d. naturf. Ges. zu Basel, 1856. — [4]) Compt. rend., Bd. 20, S. 808, 1845. — [5]) Meissner, Untersuchungen üb. d. Sauerstoff, 1863. — [6]) Phil. Mag., Bd. 22, S. 549, 1860. — [7]) Compt. rend., Bd. 57, S. 604, 1861. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 121, S. 250, 1864.

Schönbein selbst, ist es im Jahre 1864 schliesslich ausser Zweifel gesetzt worden, dass man es hier mit zwei Modificationen des Sauerstoffs zu thun hat, welche eine grosse chemische und elektrische Wirksamkeit besitzen und durch ihre Vereinigung den sogenannten gewöhnlichen Sauerstoff constituiren. Eine genügende Erklärung über alle diesbezüglichen Vorgänge ist bisher noch nicht gegeben worden. Das bei der Wasserzersetzung entbundene Antozon vereinigt sich mit Wasser zu Wasserstoff-Superoxyd, dessen Auftreten an der negativen Elektrode zuerst 1853 durch Meidinger nachgewiesen wurde.[1]) Auf der Volumsverminderung, welche bei der Bildung des Ozons und des Wasserstoff-Superoxydes stattfindet, beruht die von Faraday gemachte Wahrnehmung. Die Ozonometrie oder Bestimmung des Ozongehaltes der Luft hat für die Meteorologie eine gewisse Bedeutung erlangt, da die chemischen und organischen Vorgänge auf der Erdoberfläche durch denselben in hohem Masse beeinflusst werden.

99. Christian Friedrich Schönbein, Professor in Basel, geboren 18. October 1799, gestorben 29. August 1868, klärte auch das Wesen einer Erscheinung auf, deren erste fragmentarische Beobachtung bis auf das Jahr 1802 zurückgeht. Gautherot bemerkte nämlich, dass zwei Gold- oder Platindrähte, welche durch einige Zeit mit einer galvanischen Kette in Verbindung gewesen waren, auf der Zunge die galvanischen Geschmacksempfindungen erregten, wenn ihre beiden Enden miteinander berührt wurden.[2]) Dieselbe Wahrnehmung wurde bald nachher von Ritter gemacht, welcher darauf die Construction einer sogenannten Ladungssäule grün-

[1]) Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 88, 1853. — [2]) Histoire du Galvanisme, Bd. 1, S. 209.

dete, indem er eine Anzahl gleichartiger Metallplatten nach dem Vorbilde der Volta'schen Säule abwechselnd mit feuchten Leitern aufeinanderschichtete.[1]) Durch die Einwirkung eines galvanischen Stromes erhielt dieselbe bald eine elektromotorische Kraft, welche der Richtung des ursprünglichen Stromes entgegengesetzt war, so dass sich bei Schluss der Kette die bekannten physiologischen und chemischen Erscheinungen zeigten. Ritter wollte diesen Vorgang nach Analogie des Condensators auf eine Ansammlung der beiden Elektricitäten an den Berührungsstellen der Metallplatten mit dem schlechtleitenden Elektrolyten zurückführen, doch bemerkte Volta darauf, dass hierbei chemische Veränderungen im Spiele seien, indem durch den Einfluss des erregenden Stromes der feuchte Leiter an den Berührungsstellen in zwei chemisch verschiedene Substanzen übergeführt werde, deren Verbindung mit den Metallen einen neuen Strom zur Folge haben müsse.[2]) Diese Erklärung schien umsomehr berechtigt, da Ritter gefunden hatte, dass die Thätigkeit der Ladungssäule bei den leichter oxydirbaren Metallen fast ganz verschwindet. Erst der Professor Steffano Marianini in Venedig nahm 1815 von neuem die Untersuchung dieser Erscheinung auf.[3]) Er wiederholte die Beobachtung Ritter's, dass die elektromotorische Wirksamkeit erhalten bleibt, selbst wenn die geladene Säule zerlegt wird und die feuchten Leiter erneuert, sowie die Metallplatten gut abgetrocknet werden. Dies veranlasste ihn, die Ursache der Erscheinung in einer veränderten elektrischen Beschaffenheit der Metalle

[1]) Voigt Magazin für das Neueste, Bd. 6, S. 97, 1803. — [2]) Van Mons Journal, Bd. 6, S. 132, 1805. — [3]) Brugnatelli Giornale di Fisica, Bd. 9, S. 253, 1816.

zu suchen. Eine ähnliche Erklärung wurde 1826 von A. de la Rive gegeben,[1]) während A. C. Becquerel, die Ansichten Volta's wieder aufnehmend, die Ausscheidung von Säuren und Alkalien an den beiden Polen als Grund der elektrischen Erregung betrachtete. Schönbein gelang es aber im Jahre 1839 durch eingehende Versuche den Nachweis zu liefern, dass es vielmehr in erster Reihe die Ablagerung von Gasen an den Elektroden ist, welche elektromotorische Kräfte hervorruft und auch in gewöhnlichen Volta'schen Säulen eine Schwächung und selbst Umkehrung des Stromes zur Folge hat. Er stützte sich dabei ausser auf die Beobachtungen Marianini's hauptsächlich darauf, dass alle Umstände, welche die an den Polen angesammelten Gase entfernen, auch die von ihm sogenannte Polarisationswirkung aufheben.[2]) Nach ihm haben namentlich Poggendorff[3]) und Beetz[4]) die Gesetze dieser Erscheinung näher studirt und durch genaue Messungen festgestellt. Im Zusammenhange hiermit wurde von Schönbein zugleich eine Erklärung der von Grove[5]) construirten Gaskette[6]) und der zuerst 1790 von Keir[7]) beobachteten Veränderung der elektromotorischen Kraft verschiedener metallischer Leiter in Folge der Einwirkung der sie umgebenden Flüssigkeit gegeben, welche seit Schönbein mit dem Namen der Passivität der Metalle bezeichnet wird.[8])

---

[1]) Ann. d. Chim. et de Phys., Bd. 27, S. 190, 1825. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 46, S. 109 und Bd. 47, S. 101, 1839; Bd. 56, S. 135, 1842. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 59, S. 203 und 407, 1843. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 78, S. 35, 1849 etc. — [5]) Phil. Mag., Bd. 14, S. 129, 1839. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 58, S. 361, 1843. — [7]) Phil. Trans., Bd. 80, S. 359, 1790. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 37, 38 u. s. w., besonders Bd. 46, S. 331, 1839 und Bd. 49, S. 421, 1840.

100. Wenn die an den Elektroden abgeschiedenen Jonen eine chemische Veränderung derselben bewirken, werden dadurch ebenfalls elektromotorische Kräfte erregt, welche zur Stromerzeugung benützt werden können, indem die elektronegativen Bestandtheile am positiven und die elektropositiven am negativen Pol abgelagert werden. Die erste diesbezügliche Beobachtung von Sinsteden rührt aus dem Jahre 1854 her.[1]) Wenn durch zwei in verdünnter Schwefelsäure befindliche Bleiplatten ein Strom geschickt wird, sammelt sich an der einen Superoxyd und an der anderen Wasserstoff an, so dass die früher positive Elektrode in Folge der Einwirkung des ersteren sich gegen die andere negativ verhält. Diese Untersuchung hatte zunächst rein theoretische Bedeutung und es wurde ihr daher nur wenig Beachtung geschenkt. Im Jahre 1859 stellte sich aber ein Schüler A. C. Becquerel's, jenes verdienstvollen Physikers, der die technische Anwendung des Galvanismus mit besonderer Vorliebe pflegte, Gaston Planté, geboren 1834 (Fig. 22), die Aufgabe, derartige „secundäre Elemente" auch in einer praktisch verwerthbaren Form zu construiren. Er verwendete dazu zwei dünne Bleiplatten, deren Oberfläche mehr als 1 Quadratmeter betrug, trennte sie von einander durch ein grobes Tuch und tauchte sie spiralförmig zusammengerollt in verdünnte Schwefelsäure.[2]) Es war ihm dadurch möglich, mit Hilfe der chemischen Umwandlung der Elektroden die Wirksamkeit eines Stromes gleichsam aufzubewahren, um sie dann in mannigfacher Weise umzugestalten. Auf Grund eingehender Studien wurden von ihm in der Folge

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 92, S. 17, 1854. — [2]) Compt. rend., Bd. 50, S. 640, 1860.

manche Abänderungen an dieser Vorrichtung getroffen, im Wesentlichen ist sie aber dieselbe geblieben.[1]) Planté's

Fig. 22.

Gaston Planté.

Vorhaben wurde nicht erreicht. Das zeitraubende „Laden" und die kurze Dauer der erhaltenen Ströme traten der

[1]) Planté, Recherches sur l'électr., 1879.

technischen Anwendung seiner Erfindung sehr hindernd entgegen und erst in den letzten Jahren wusste sie sich auch in der Praxis Geltung zu erringen. Dies geschah vor Allem durch Camillo Faure, welcher die Wirkung der Polarisation erleichterte und verstärkte, indem er das Blei mit Mennige überzog, welche schon direct durch den Einfluss der Säure in Superoxyd und schwefelsaures Blei verwandelt wird.[1]) Die mit diesem Apparate erzeugten Ströme sind schneller zu laden und länger andauernd, als jene Planté's. Die überraschenden Erfolge, welche Faure mit den so verbesserten „Accumulatoren" erzielte, lenkten rasch die allgemeine Aufmerksamkeit auf diese bequeme Art, Elektricität in der Form von chemischer Spannkraft „aufzuspeichern", und haben eine grosse Anzahl von Vorschlägen in dieser Richtung hervorgerufen, von welchen die von Méritens,[2]) Pezzer und Carpentier[3]) und Anderen Erwähnung finden mögen.

Drittes Capitel.

Die galvanischen Elemente und Batterien.

101. Volta hatte in seiner Säule ein Mittel gegeben, die schwachen elektromotorischen Kräfte, welche bei der Berührung zweier Metalle auftreten, erheblich zu verstärken und dadurch Wirkungen zu erzielen, welche geeignet waren, die bisherigen Anschauungen über die elektrischen Erscheinungen wesentlich zu erweitern und umzugestalten. Es ist daher leicht zu begreifen, dass

---

[1]) Compt. rend., Bd. 92, S. 951, 1881. — [2]) La lumière électr. S. 415, 1881. — [3]) La lumière électr., S. 379, 1881.

man sich unmittelbar nach dem Bekanntwerden seiner Erfindung allgemein damit befasste, dieselbe auszubilden und zur Erhöhung der Stromstärke mehr oder weniger werthvolle Abänderungen daran vorzunehmen. Schon Volta selbst hatte zwei Formen veröffentlicht, in denen er den „elektromotorischen Apparat" in Anwendung brachte. In beiden hatte er Kupfer oder Silber als das eine, Zinn oder Zink als das andere Metall gewählt und dieselben durch einen feuchten Leiter von einandergeschieden. In der Einrichtung der „Säule" war dieser letztere ein mit alkalischer Lauge getränkter Leder-, Papp- oder Tuchlappen, welcher die vertical übereinandergeschichteten Metallplatten trennte.[1]) Beim „Becher- oder Tassenapparat" tauchten die durch einen metallischen Streifen verbundenen Platten in gläserne Gefässe, die mit einer Salzlösung gefüllt waren. Beide Formen wurden zunächst beibehalten, da sich die erste durch ihre Tragbarkeit, die zweite durch bequemen Aufbau vortheilhaft zu empfehlen schien. Im Anfange wurden zu den Säulenapparaten gewöhnlich geprägte Münzen, später eigens gewalzte Metallplatten verwendet, die man nach Volta's Beispiel meist aus Gold oder Silber wählte, bis Ritter dafür das weniger kostbare Kupfer in Aufnahme brachte.[2]) Auch versah dieser die Zinkplatten mit einem Rande, um das Ablaufen der Flüssigkeit aus den Tuchstreifen zu verhindern. Die von Henry Haldane[3]) construirten liegenden Säulen zeigten eben in Folge dieses Uebelstandes nur geringe Wirksamkeit. Eine Verbesserung der Einrichtung wurde dagegen vom Grafen Caspar

[1]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 179, 1800; Phil. Trans., S. 402, 1800. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 7, S. 373, 1801. — [3]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 313, 1800.

von Sternberg in Regensburg dadurch erzielt, dass er die Platten durch Zusammenlöthen in besseren Contact brachte. Ausserdem suchte man die Wirkungen sowohl durch Vergrösserung, wie durch Vermehrung der Platten zu erhöhen. So hatte Biot eine Säule, deren Platten 14 Zoll (36 Centimeter) im Durchmesser hatten,[1]) und die Anzahl der Platten bei einem Apparate Ritter's betrug nicht weniger als 2000, welche in 20 Abtheilungen geschieden waren.[2]) Man sah indessen schon nach wenigen Jahren ein, dass diese Form des Apparates im Allgemeinen wenig zweckmässig war, zumal da bei Vergrösserung der Dimensionen der Vortheil der Tragbarkeit ohnedies wegfällt, und so wandte man sich bald fast ausschliesslich dem Principe der weniger umständlichen, aber wirksameren Tassenapparate zu.

102. Das Bestreben, den Einfluss der Zwischenleiter auf die Wirksamkeit der Volta'schen Kette festzustellen, rief zahlreiche Constructionen von Säulen hervor, in welchen jene namentlich durch trockene Scheiben ersetzt werden sollten. Die ersten Nachrichten von derartigen Versuchen gehen auf das Jahr 1801 zurück, indem Zelle[3]) und Lüdicke[4]) in Salzwasser gekochte und abgetrocknete Kohlen- und Lindenholzstücke zum Aufbau einer Säule zu verwenden suchten. Indessen erhielten sie ebensowenig die gewünschten Resultate, wie nach ihnen Ritter oder einer der vielen anderen Physiker, welche sich im nächsten Jahre mit diesem Problem beschäftigten. Dagegen gelang es 1803 Georg Bernhard Behrens in Pommern, 1775 bis 1813, dasselbe anscheinend zu lösen.

[1]) Gilbert Ann., Bd. 10, S. 28, 1802. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 19, S. 30, 1805. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 8, S. 316, 1801. — [4]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 119, 1801.

Er fand eine Kette, in welcher Zink und Kupfer durch Feuersteinplatten oder noch besser durch Scheiben aus Goldpapier getrennt waren, elektroskopisch ziemlich wirksam, ohne dass sich selbst nach Monaten eine Abnahme der Spannung an den Polen gezeigt hätte. Behrens betrachtete diese Erscheinung als einen Beweis für Volta's Theorie der Contactelektricität, da dabei alle anderen, namentlich aber alle chemischen Einflüsse ausgeschlossen schienen.[1]) Er suchte seine Entdeckung auch praktisch zu verwerthen, wozu ihn vielleicht das Beispiel von Maréchaux veranlasst haben mag. Dieser hatte nämlich die beiden Pole einer gewöhnlichen Volta'schen Säule mit einer Messingkugel und einem beweglichen Silberplättchen verbunden und nach dem Grade der Anziehung zwischen beiden die Spannung der Kette mit ziemlicher Genauigkeit ermittelt.[2]) Behrens wollte nun in ähnlicher Weise seinen Apparat allgemein für elektroskopische Bestimmungen verwenden. Zu diesem Zwecke stellte er zwei seiner Säulen mit entgegengesetzten Polrichtungen nebeneinander und führte von ihren oberen Polen Drähte zu zwei Platten, welche in einer Glasröhre einander nahe gegenüberstanden, so dass ein Goldblatt in ihrer Mitte, sobald es die geringste Ladung erhielt, von dem einen Pol eine Anziehung und von dem anderen eine Abstossung erfuhr. Die beiden unteren Pole waren gemeinschaftlich zur Erde abgeleitet.

103. Obwohl Behrens durch seine Untersuchungen nicht nur die vielseitigen Bemühungen in einem gewissen Sinne zum Abschlusse gebracht, sondern auf Grund der-

[1]) Gilbert Ann., Bd. 23, S. 1, 1806. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 16, S. 115, 1804.

soll ein solches Instrument auf der königlichen Privatbibliothek zu Stuttgart von 1815 bis 1847 in ununterbrochener Thätigkeit gewesen sein.[1]) Der Mechaniker Streitzig in Verona wollte darauf sogar die Construction einer Uhr gründen,[2]) welche viele ähnliche Versuche hervorrief, bis Heinrich die Unbrauchbarkeit einer solchen Vorrichtung für Zeitmessungen nachwies.[3]) Eine im Besitze von Zamboni befindliche derartige Uhr soll über zehn Jahre gegangen sein.[4]) Von dauerndem Werthe war dagegen die Benützung der trockenen Säulen zu einem Elektroskop durch Behrens. Ein ähnliches wurde von Bohnenberger mit zwei Zamboni'schen Säulen hergestellt.[5]) Becquerel benützte dazu die Pole einer einzigen horizontal liegenden Säule[6]) und Fechner steigerte die Empfindlichkeit des Instrumentes durch weitere Verbesserungen.[7]) Erst von Hankel wurde dasselbe aber auch zu höchst genauen Messungen tauglich gemacht, indem er die trockene Säule durch ein Kupfer-Wasser-Zink-Element ersetzte.[8]) Von Rousseau wurde die Zamboni'sche Säule zur Construction eines Apparates verwendet, welcher die Reinheit verschiedener Nahrungsmittel und überhaupt die chemische Zusammensetzung von Stoffen auf Grund ihrer verschiedenen Leitungsfähigkeit zu prüfen gestattet,[9]) doch kann auf dieses „Diagometer" hier nicht näher eingegangen werden.

---

[1]) Seyffer, Geschichtl. Darst. d. Galvan., S. 142, 1848. — [2]) Seyffer, Gesch. Darst. d. Galv., S. 143, 1848. — [3]) Seyffer, Gesch. Darst. d. Galvan., S. 143, 1848. — [4]) Gehler, Wörterb., Bd. 8, S. 160. — [5]) Schweigger Journ., Bd. 25, S. 159, 1819. — [6]) Schweigger Journ., Bd. 42, S. 73, 1824. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 41, S. 230, 1837. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 84, S. 28, 1851. — [9]) Urbanitzky, Elektr. im Dienste d. Menschheit, S. 182, 1884.

105. Die erste wesentliche Veränderung der Säulenform wurde schon kurze Zeit nach Volta's Erfindung von William Cruikshank in Woolwich vorgenommen, welcher sich dabei insoweit der Einrichtung des Tassenapparates näherte, als er die Tuchscheiben wegliess und die aneinandergelötheten Zink- und Silberplatten direct in einen mit Salpetersäure oder Salzsäure gefüllten Trog tauchte.[1]) Mit einer solchen Vorrichtung machte Davy seine grosse Entdeckung der Alkali-Metalle.[2]) Auch diese Apparate führte man bald in grossen Dimensionen aus. Der bedeutendste unter diesen „Zellenapparaten" wurde von Napoleon I. der Pariser polytechnischen Schule gespendet und bestand aus 600 quadratischen Platten, deren jede eine Seitenlänge von 0·3 Meter hatte.[3]) Ritter construirte einen sogenannten „Schüsselapparat", indem er kupferne Schüsseln mit verdünnter Säure füllte und in dieselbe Zinkstückchen warf; mehrere Schüsseln wurden so übereinandergehängt, dass jede in die Flüssigkeit der unter ihr befindlichen tauchte.[4]) Diese unpraktische Anordnung fand zwar keine Verbreitung, ihr Princip ist jedoch später in anderer Form als „Kastenapparat" in Aufnahme gekommen. Auch Cruikshank's Zellenapparat vermochte sich nicht auf die Dauer zu erhalten, besonders da das Erneuern der Zinkplatten mit Umständlichkeiten verknüpft ist. Dies veranlasste Wilkinson, sich der Form des Tassenapparates noch mehr zu nähern, indem er die einzelnen Paare durch Zwischenwände von einander trennte und die Zinkplatte einer jeden Zelle mit der Kupferplatte der nächstfolgenden durch einen Metall-

[1]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 223, 1800. — [2]) Phil. Trans., S. 1, 1808. — [3]) Seyffer, Gesch. Darst. d. Galvan., S. 128, 1848. — [4]) Gehlen Journal d. Phys., Bd. 5, S. 303, 1805.

streifen in Verbindung brachte; durch Ringe wurden alle diese Bügel in einem horizontalen Rahmen aufgehängt, mit dem sie gehoben und gesenkt werden konnten.[1]) Diese sogenannten „Trogapparate" erlangten wegen ihrer grösseren Wirksamkeit allmählich allgemeine Verbreitung. Auch sie wurden in riesigen Dimensionen hergestellt; so construirte J. G. Children unter dem Namen Deflagrator 1815 einen Apparat, dessen 16 Plattenpaare je 6 Fuss (190 Centimeter) lang und $2^2/_3$ Fuss (84 Centimeter) breit waren.[2]) Durch grosse Anzahl der Platten war namentlich der Apparat der Royal Institution in London ausgezeichnet, indem er aus 2000 Plattenpaaren von 6 Zoll (16 Centimeter) Seitenlänge in 200 gläsernen Trögen zusammengesetzt war.[3])

106. Man hatte bisher die Vermehrung der Anzahl der Platten und die Vergrösserung ihrer Oberfläche als die einzigen Mittel betrachtet, um die Wirkungen des Stromes zu erhöhen. Es erregte daher ungemeines Aufsehen, als Wollaston im Jahre 1815 die Mittheilung machte,[4]) er habe mit einem einfachen „Elektromotor" von der Grösse eines Fingerhuts einen freilich überaus dünnen Platindraht zum Glühen gebracht. Im Wesentlichen bestand dieser Apparat aus einer kleinen Zinkplatte, welche rings von dem flachgeklopften Mantel eines silbernen Fingerhutes umgeben war und mit diesem in angesäuertes Wasser tauchte. Professor Kastner benützte denselben zur Construction eines Taschenfeuerzeugs.[5]) Die überraschenden Erfolge dieses Elementes beruhten darauf,

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 36, S. 361, 1810. — [2]) Phil. Trans., S. 363, 1815. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 37, S. 51, 1811. — [4]) Thomson Journ., Bd. 6, S. 209, 1815. — [5]) Seyffer, Gesch. Darst. d. Galv., S. 100, 1848.

dass durch die Verdoppelung der Silberplatte beide Seiten des Zinks zur Wirksamkeit gelangten und dadurch die Stromstärke ebenfalls nahezu verdoppelt wurde. Auf Wollaston's Vorschlag änderte nunmehr auch Children seine ganze Batterie in entsprechender Weise um, indem er zu jeder Zinkplatte eine zweite Kupferplatte hinzufügte. Diese Wollaston'schen Trogapparate sind ziemlich lang in allgemeiner Anwendung gestanden.[1]) Aus ihnen entwickelten sich die sogenannten Kastenapparate, indem Oersted in Kopenhagen 1816 die Zinkplatten direct in Kupfergefässe stellte, welche mit irgend einer Säure gefüllt waren.[2])

107. Bereits Children hatte seinem Apparate die Einrichtung gegeben, dass die Zink- und ebenso die Kupferplatten für sich verbunden werden konnten und dadurch ein einziges Element mit zwei Platten von ungeheurer Oberfläche formirten. Diese Anordnung erlangte besonders in England Verbreitung und bald stellte man einzelne Kastenelemente her, die aus einem langen und schmalen Kupfertrog mit einer ebenso langen Zinkplatte bestanden. Das Bestreben, möglichst grosse Oberflächen in einem kleinen Raume zu erhalten, führte Robert Hare in Philadelphia 1819 zur Construction des sogenannten Calorimotors,[3]) indem er sehr lange Kupfer- und Zinkbleche unter Trennung durch eingeschobene Korkstückchen spiralförmig zusammenrollte und in einen Trog mit verdünnter Schwefelsäure senkte. Oberstlieutenant Offenhaus ersetzte die Korkstückchen durch eingelegte Tuchstreifen oder Holzstäbe.[4]) Der Name des Calorimotors rührt ebenso

[1]) Phil. Trans., S. 363, 1815. — [2]) Schweigger Journ., Bd. 20, S. 205, 1818. — [3]) Schweigger Journ., Bd. 26, S. 313, 1819. — [4]) Gilbert Ann., Bd. 69, S. 198, 1821.

wie der des Deflagrators von der grossen Wirksamkeit dieser Apparate in Bezug auf das Glühen von Metalldrähten her. Eine andere Vorrichtung von Professor Schmidt in Giessen, bei welcher mehrfach gewundene Zink- und Kupferplatten ineinandergeschoben waren,[1]) hat sich wenig Verbreitung verschafft. Dagegen wurde ein Apparat von Hare aus dem Jahre 1821, welcher aus U-förmig gebogenen Kupferplatten bestand, in denen einfache Zinkbleche hingen, und bei dem die Trennung der Platten durch Korkstückchen und Holzstäbe bewerkstelligt wurde,[2]) 1835 von Faraday verbessert, indem er diese letzteren durch gefirnisstes Papier ersetzte.[3]) Van Melsen wählte dafür Guttapercha-Papier oder Glasplatten.[4]) Von James Young wurden endlich auch doppelte durch einen Bügel verbundene Zinkplatten in Anwendung gebracht.[5])

108. Die bis dahin construirten Elemente waren alle von kurzer Wirksamkeit, da das hierbei verwendete Zink durch den Angriff der Säuren eine rasche Abnützung erfuhr. Es war daher ein wesentlicher Fortschritt in der Einrichtung der Elemente, als Sturgeon 1830 Zinkamalgam in Anwendung brachte,[6]) welches von der Einwirkung der Säuren wenig berührt wird. Die eigenthümliche Amalgamkette, welche Kemp zwei Jahre vorher aus flüssigem Zinkamalgam, Kupfer und Kupfervitriol hergestellt hatte,[7]) mag ihm hierzu wohl die Anregung geboten haben.

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 72, S. 1, 1822. — [2]) Phil. Mag., Bd. 63, S. 246, 1821. — [3]) Faraday, Exper. research., § 1124; Phil. Trans., 1835. — [4]) Wiedemann, Elektr., Bd. 1, S. 734, 1882. — [5]) Phil. Mag., Bd. 10, S. 241, 1837. — [6]) Wiedemann, Elektr., Bd. 1, S. 785, 1882. — [7]) Sturgeon Ann. of Electr. Bd. 1, S. 81, 1836.

Diese Verbesserung wurde von Warren de la Rue aufgegriffen [1]) und ist seither bleibend beibehalten worden.

Aber auch die Elemente mit amalgamirtem Zink litten noch an einem wesentlichen Uebelstande, da die Abscheidung von Wasserstoff an der Kupferplatte eine Polarisation der Elektroden und dadurch eine Schwächung des Stromes zur Folge hat. Der Professor der Physik in Paris und frühere Bataillonschef im Ingenieurcorps Antoine César Becquerel, geboren 8. März 1788, gestorben im Januar 1878, war der erste, welcher diesen Nachtheil zu beseitigen trachtete, indem er die schon 1801 von Davy [2]) untersuchte Zusammenstellung von Salpetersäure, Wasser und einem Metall 1823 zur Construction eines Elements benützte.[3]) Um die Oxydation des Metalls bei der Zersetzung zu vermeiden, wurde Platin von ihm in Anwendung gebracht; das Wasser ersetzte er durch Kalilauge. Bei dieser Combination wird der an dem einen Platinpol sich entbindende Wasserstoff durch die Einwirkung der Säure wieder oxydirt, und so war es Becquerel möglich, in der That ziemlich constante Wirkungen zu erhalten. Wegen der dabei an dem anderen Pol erfolgenden Abscheidung von Sauerstoff wurde diese Säule von ihm als pile à oxygène bezeichnet. Diese Vorrichtung ist der Ausgangspunkt für die Construction der constanten Elemente gewesen. In der ursprünglichen Anordnung bestand sie aus einem mit der Säure gefüllten Platinschälchen, in welches an einer Zange aus demselben Metall ein kleines Stück befeuchteten kaustischen Kalis tauchte.

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 40, S. 628, 1837. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 390, 1802. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 23, S. 244, 1823.

Später wurde von Becquerel die Kalilauge in eine besondere Glasröhre gegeben, deren Boden aus porösem Thon bestand und dadurch die Communication zwischen den beiden Flüssigkeiten und also auch den Durchgang des Stromes ermöglichte; an Stelle des Platinschälchens wählte er ein Glasgefäss, in welches eine Platinplatte hineingesenkt war. Der Kastenapparat war damit wieder zu der ursprünglichen Volta'schen Tassenanordnung umgestaltet. [1])

109. Das erste constante Element in der heutigen Form construirte Becquerel, indem er das Princip der pile à oxygène mit dem der zweimetalligen Säulen vereinigte. Er tauchte Kupfer- und Zinkplatten in Lösungen von salpetersaurem Kupferoxyd und schwefelsaurem Zinkoxyd und trennte diese letzteren durch zwischengespannte Goldschlägerhäute. [2]) Bei allen seinen Constructionen war Becquerel vorwiegend empirisch verfahren. Durch theoretische Ueberlegungen gelangte J. F. Daniell 1836 zu ähnlichen Resultaten. [3]) Er wählte ebenfalls Kupfer und amalgamirtes Zink als Metalle, wandte aber concentrirte Kupfervitriollösung und verdünnte Schwefelsäure als Flüssigkeiten an, welche er durch eine Ochsengurgel von einander trennte. Das äussere Gefäss bestand direct aus Kupfer. Durch einen Trichter konnte die Schwefelsäure, durch eingelegte Stücke von schwefelsaurem Kupferoxyd die Vitriollösung beständig erneuert werden. Das aufgelöste Zinkoxyd wurde durch eine Röhre am Boden des Gefässes fortgeschafft. Die Verbindung mit den Leitungsdrähten war durch kleine Quecksilbernäpfe bewerkstelligt. Bei Thätig-

---

[1]) Compt. rend., Bd. 1, S. 455, 1835. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 41, S. 22, 1829. — [3]) Phil. Trans., Bd. 1, S. 117, 1836.

keit des Stromes zeigte sich an der Kupferelektrode ein gleichmässiger, schöner Kupferniederschlag. Die zu grosse Porosität der Ochsengurgel bildete die Ursache, weshalb Gassiot dieselbe 1839 durch weichen porösen Thon ersetzte,[1]) der seit dieser Zeit auch in Anwendung blieb.

William Rob. Grove, Professor der Physik in London, geboren 11. Juli 1811, verdoppelte nahezu die Wirkung des Daniell'schen Elementes, indem er in demselben Jahre an Stelle des Kupfers in schwefelsaurem Kupferoxyd Platin mit concentrirter Salpetersäure wählte.[2]) Der Pfeifenkopf, den er zu seinem Elemente benützte, veranlasste Poggendorff 1841 anstatt der bisher bevorzugten, bei einem grösseren Apparat auch von Grove verwendeten, ziemlich kostspieligen parallelopipedischen Form der Thonzellen und Gefässe die seither benützte cylindrische in Vorschlag zu bringen.[3]) Poggendorff vergrösserte auch die Oberfläche des Platinblechs, indem er ihm eine S-förmige Krümmung gab und die Anordnung der beiden Metalle vertauschte, so dass sich nunmehr das Zink im äusseren Raume befand. Grove hatte das gleiche Resultat nach Art der Wollaston'schen Einrichtung durch Verdopplung der Platinplatten zu erreichen gesucht. Wegen der Kostspieligkeit des Platins war man auch mannigfach bemüht, es durch andere Stoffe zu ersetzen. So wurde z. B. von Oersted der Thoncylinder mit Chlorplatin überzogen,[4]) wie man ja auch bei den inconstanten Elementen das Material in der verschiedensten Weise verändert hatte. Von allen diesen

---

[1]) Phil. Mag., Bd. 13, S. 436, 1839. — [2]) Phil. Mag., Bd. 15, S. 287, 1840. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 420, 1841. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 53, S. 381, 1841.

Modificationen vermochten sich aber nur wenige Verbreitung zu verschaffen. Als eine der noch bis heute gebräuchlichen wäre etwa die Kette von Hawkins zu erwähnen, in welcher das Platin durch Eisen vertreten wird.[1]) Ein wesentlicher Fortschritt wurde dagegen 1840 durch Cooper angebahnt, indem er an Stelle des Platins Kohle oder Graphit in Anwendung brachte.[2]) Schönbein fand diese Kette auch mit Retortenkohle ziemlich wirksam[3]) und Bunsen endlich erhöhte die Leistungsfähigkeit derselben noch mehr, indem er sich der von ihm erfundenen, künstlich präparirten Kohle bediente.[4]) Neuere Constructionen dieser Elemente wurden namentlich von Stöhrer, sowie von Siemens und Halske gegeben.[5])

110. Während in den bisher ersonnenen Elementen die Polarisation dadurch vermieden worden war, dass man die negative Elektrode, an welcher die Abscheidung des Wasserstoffs erfolgt, mit einer Säure umgiebt, durch deren Zersetzung Sauerstoff entwickelt wird, so dass sich der Wasserstoff gleich wieder oxydirt, versuchte dies Robert Wilhelm Bunsen, geboren 1811 in Göttingen, 1841 durch die Anwendung einer Mischung von zwei Flüssigkeiten zu erreichen, durch deren Einwirkung aufeinander Sauerstoff frei wird.[6]) Er wählte dazu verschiedene Substanzen, unter Anderem auch chromsaures Kali in Verbindung mit Schwefelsäure. Die Wirkungen erschienen ihm nicht constant genug, dennoch gab er damit der Entwicklung der galvanischen Elemente eine neue Richtung.

---

[1]) Phil. Mag., Bd. 16, S. 115, 1840. — [2]) Phil. Mag, Bd. 16, S. 35, 1840. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 49, S. 589, 1840. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 417, 1841. — [5]) Wiedemann, Elektr., Bd. 1, S. 774, 1882. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 417, 1841.

Leeson[1]) und Warrington[2]) erklärten diese Zusammenstellung nämlich für sehr befriedigend und dies veranlasste Poggendorff, darüber genauere Versuche anzustellen, bis es ihm gelang, eine Mischung zu finden, deren elektromotorische Kraft freilich nicht sehr lange constant bleibt, die der meisten anderen Elemente aber erheblich übertrifft.[3]) Da bei ihrer Anwendung der Gebrauch einer zweiten Flüssigkeit entbehrlich wird, entfällt damit auch die Thonzelle und es wird das Erneuern und Reinigen des Elementes ausserordentlich erleichtert. Diese Chromsäure-Elemente, für welche geeignete Mischungen ausser von Poggendorff[4]) und Bunsen selbst[5]) noch von Wöhler und Buff,[6]) Byrne[7]) und Anderen angegeben worden sind, haben namentlich in Laboratorien, im Telegraphendienste, für chirurgische Zwecke, Minenzündungen u. dgl. grosse Verbreitung erlangt. Von Constructionen derselben sind hauptsächlich jene von Bunsen selbst,[8]) ferner von Fuller,[9]) Grenet,[10]) Trouvé[11]) und Anderen zu erwähnen.

111. Die mannigfachen Uebelstände und Mängel, an welchen die auf der Zersetzung von Säuren beruhenden Elemente leiden, veranlassten Leclanché 1867 die Depolarisation durch Anwendung von leicht zersetzbaren Oxyden zu versuchen.[12]) Schon 1843 hatte de la Rive

[1]) Phil. Mag., Bd. 20, S. 262, 1842. — [2]) Phil. Mag., Bd. 20, S. 393, 1842. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 57, S. 101, 1842. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 57, S. 101, 1842. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 155, S. 234, 1875; Wiedemann, Elektr., Bd. 1, S. 741, 1882. — [6]) Pogg. Ann , Bd. 73, S. 497, 1848. — [7]) Hauck, Galv. Elemente, S. 192, 1880. — [8]) Wiedemann, Elektr., Bd. 1, S. 740, 1882. — [9]) Hauck, Galv. Elemente, S. 195, 1880. — [10]) Hauck, Galv. Elemente, S. 201, 1880. — [11]) Hauck, Galv. Elemente, S. 202, 1880. — [12]) Dingler Journ., Bd. 186, S. 270, 1867.

das Kupfer der einfachen Volta'schen Kette durch einen Thoncylinder mit gepulvertem Blei- oder Mangansuperoxyd ersetzt, in welchen ein Platinblech hineingesenkt war, und besonders die erstere Combination zeigte kräftige Wirkungen.[1]) Nichtsdestoweniger wurden diese Elemente nicht weiter beachtet und fielen bald ganz der Vergessenheit anheim. Erst Leclanché erfasste wieder diesen Gedanken und führte denselben in einer Weise durch, dass seine Elemente sich gegenwärtig beinahe in allen Beziehungen vor den übrigen auszeichnen und zu den am meisten verbreiteten gehören. An Stelle des Platins von de la Rive nahm er Kohle, umgab diese mit einem grob gepulverten Gemisch von Mangansuperoxyd (Braunstein) und Retortenkohle und senkte den damit gefüllten Thoncylinder, sowie die amalgamirte Zinkplatte in eine concentrirte Salmiaklösung. Später suchte er den Widerstand des Elementes noch mehr zu verringern, indem er die Thonzelle geradezu durch einen aus Braunstein, Gaskohle und Schellack zusammengepressten Cylinder ersetzte[2]) oder in noch wirksamerer Weise die plattenförmige Kohlenelektrode zu beiden Seiten mit gepressten Platten aus diesem Gemisch versah.[3]) Ausserdem erhöhte er die Brauchbarkeit des Apparates durch eine praktische Einrichtung desselben. Ein solches Element kann bei beständiger Verwendung seine Wirksamkeit fast ein volles Jahr hindurch behalten.[4]) Clark und Murhead suchten die Constanz desselben noch dadurch zu vermehren, dass sie die Kohle platinirten.[5]) Beetz hat eine tragbare Batterie, namentlich

[1]) Archiv de l'électr., Bd. 3, S. 112, 1843. — [2]) Compt. rend., Bd. 83, S. 54, 1876. — [3]) Compt. rend., Bd. 87, S. 329, 1878. — [4]) Hauck, Galv. Elemente, S. 184, 1880. — [5]) Telegr. Journal, Bd. 4, S. 244, 1876.

für therapeutische Zwecke, aus solchen Elementen zusammengestellt.[1])

112. Schon Daniell hatte darauf aufmerksam gemacht, dass die Depolarisation der negativen Elektrode ausser durch Sauerstoff auch durch Chlor bewirkt werden könne,[2]) doch erst 1860 wurde von Marié Davy dieser Gedanke ausgeführt, indem er ein Element aus Chlorsilber, Wasser und Zink zusammenstellte.[3]) Warren de la Rue und Hugo Müller verwendeten 1868 als Flüssigkeit eine Kochsalzlösung und später Salmiak, in welches ein unamalgamirter Zinkstab und ein Silberdraht getaucht ist, den ein Cylinder von geschmolzenem Chlorsilber umgiebt.[4]) De la Rue hat nicht weniger als 11.000 solcher Elemente zu einer Batterie vereinigt. Die Polarisation ist dabei fast völlig vermieden, so dass sie eine grosse Verbreitung erlangt haben. Zu gleicher Zeit wurde vom Kreisphysicus Pincus in Insterburg ein ähnliches Element für ärztliche Zwecke bekannt gemacht.[5]) Bei diesem befindet sich das Chlorsilber in gepulvertem Zustande in einem kleinen Silbertiegel, der ebenso wie die amalgamirte Zinkelektrode in verdünnte Schwefelsäure oder Kochsalzlösung taucht. Gaiffe hat ebenfalls aus Rücksicht auf die medicinische Verwendung 1881 die Benützung einer Flüssigkeit dadurch gänzlich vermieden, dass er mit Zinkchlorid getränktes Papier zwischen Zink- und Silberplatten legte.[6]) Im Anschluss hieran mag noch ein Element Erwähnung finden, welches als Pulver-

[1]) Archiv f. klin. Med., Bd. 10, S. 119, 1872. — [2]) Daniell, Introduction of Chem. Philos. — [3]) Compt. rend., Bd. 49, S. 1004, 1859. — [4]) Compt. rend., Bd. 67, S. 794, 1868; Bd. 81, S. 686 u. 746, 1875. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 135, S. 167, 1868. — [6]) Hauck, Galv. Elemente, S. 136, 1882.

macher'sche Kette vor mehr als 30 Jahren in Aufnahme kam und im Principe zwar von der Volta'schen Säule nicht verschieden ist, sich aber durch originelle Einrichtung und Bequemlichkeit bei der Benützung auszeichnet.[1]) Es besteht dies aus kleinen Holzstäbchen, um welche Zink- und vergoldete Kupferdrähte ohne gegenseitige Berührung nebeneinander gewickelt sind. Die verschiedenen Drähte der benachbarten Stäbchen sind durch Oesen miteinander verbunden. An den äussersten Gliedern sind Metallgriffe angebracht. Durch Eintauchen in Essig kommt die Kette in Thätigkeit, indem die Holzstückchen die feuchten Zwischenleiter vorstellen. Diese Elemente haben zu ärztlichen Zwecken ziemlich grosse Verwendung gefunden.

Viertes Capitel.

Die Theorien des galvanischen Stromes.

113. Durch Volta's Bemühungen war die Annahme von dem physiologischen Ursprung der galvanischen Ströme, wie sie Galvani selbst und nächst ihm namentlich Giovanni Aldini und Alexander von Humboldt vertheidigt hatten, als irrig erwiesen worden. Volta hatte an Stelle derselben die Contacttheorie gesetzt. Nach dieser sollte die Berührung von beliebigen Körpern eine Wechselwirkung zwischen ihren Elektricitäten zur Folge haben, welche Volta selbst auf eine gegenseitige Abstossung derselben zurückführen wollte.[2]) Diese letztere Ansicht

[1]) Dingler Journ., Bd. 122, S. 29, 1851. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 380, 1801.

schien aber dem Grundgesetze der elektrostatischen Kräfte zu widersprechen und so zog man es im Laufe der Zeit vor, vielmehr eine verschiedene Anziehung der Elektricitäten durch die sich berührenden Körper als Ursache für ihre Scheidung zu betrachten, während Fechner[1]) später darauf aufmerksam gemacht hat, dass die Erscheinung auch die gleiche bleibt, wenn man eine gegenseitige Bindung verschiedenartiger Elektricitäten in den beiden Körpern voraussetzt, so dass dadurch die entgegengesetzten Fluida frei werden. In allen diesen Erklärungsversuchen wird die Strombildung aus der Erregung eines elektrischen Spannungszustandes abgeleitet, indem die Berührung der beiden Körper eine Polarisation ihrer kleinsten Theile zur Folge hat, durch welche bei genügender elektrischer Spannung die Trennung der Fluida und die Strömung der Elektricitäten veranlasst wird. Die chemischen Processe im Elektrolyten wurden als blosse Folgewirkung angesehen und ihnen kein Einfluss auf die Entstehung des Stromes zugeschrieben.

114. Im Gegensatz zu der ausser von Volta namentlich durch Pfaff vertretenen Contacttheorie oder vielmehr noch vor Ausbildung derselben hatte Fabbroni die Ursache der elektrischen Ströme in chemischen Vorgängen erblicken wollen, die sich bei der Berührung zweier Körper abspielen, und war dadurch der Begründer der „chemischen Theorien" des Galvanismus geworden.[2]) Ihm hatten zunächst Haldane,[3]) Wollaston[4]) und Ritter[5]) sich angeschlossen, welch letzterer die

[1]) Pogg. Ann., Bd. 44, S. 39, 1838. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 4, S. 428, 1799. — [3]) Nicholson Journ., Bd. 5, S. 313, 1801. — [4]) Phil. Trans., S. 437, 1802. — [5]) Ritter, Elektr. System d. Körper, S. 49 und 61, 1805; Gilbert Ann., Bd. 9, S. 233, 1801.

Meinung vertrat, dass es nur dann zu einem galvanischen Strome kommen könne, wenn mindestens ein Leiter erster Classe von einem Elektrolyten angegriffen wird; die Intensität des Stromes hänge ausschliesslich von der Stärke dieser chemischen Action ab. Um die elektrische Spannung an den Polen der nicht geschlossenen Kette zu erklären, wurde dabei als nothwendige Bedingung der elektrischen Erregung angenommen, dass eine directe chemische Einwirkung der sich berührenden Körper auch bei ungeschlossener Kette stattfinden müsse. Als eine solche elektromotorische Störung des chemischen Gleichgewichtes wurde anfänglich blos die Oxydation des Zinks betrachtet und erst der Dorpater Arzt und Professor Johann Jacob Parrot, 1792 bis 1840, von dem die erste vollkommen ausgebildete chemische Theorie herrührt,[1]) erweiterte diese Anschauung auch auf andere ähnliche Processe. Auch Davy hatte ursprünglich gleichen Ansichten gehuldigt;[2]) bei der weiteren Ausbildung seiner Theorie verliess er aber diese rein chemische Erklärungsweise und näherte sich in gewissem Grade der Contacttheorie.[3]) Er räumte zwar den chemischen Processen im Elektrolyten einen wesentlichen Antheil an der Strombildung ein, aber nur in dem Sinne, als chemische und elektrische Erscheinungen überhaupt vollkommen gleichwerthig sein sollten. Eine elektrische Erregung kann darnach nur bei gleichzeitiger chemischer Veränderung und diese nicht ohne jene vor sich gehen. Die Grundbedingung für das Auf-

[1]) Gilbert Ann., Bd. 12, S. 49, 1802 und Bd. 21, S. 98, 1805; Parrot, Lehrb. d. Phys., Bd. 2, S. 564, 1811. — [2]) Nicholson Journ., Bd. 4, S. 94 und 337, 1800. — [3]) Phil. Trans., S. 61, 1807 und S. 407, 1826.

treten eines galvanischen Stromes ist die Vertheilung der Elektricitäten in den sich berührenden Körpern. Diese erfolgt aber durch den Contact, ebenso wie der entsprechende chemische Vorgang. Indem nun die chemischen Bestandtheile eines Elektrolyts von Natur aus verschiedene Elektricitäten besitzen, werden sie durch die entgegengesetzten Fluida des Leiters erster Ordnung angezogen und neutralisiren sich mit ihnen; die Fortdauer des Contactes bewirkt aber beständig eine neue Vertheilung und so können continuirliche Ströme zu Stande kommen. In ähnlicher Weise suchte der Professor und Obermedicinalrath Georg Friedrich Jäger in Stuttgart zuerst zwischen der chemischen und der Berührungstheorie zu vermitteln;[1]) später verglich er die Flüssigkeit der Säule mit der isolirenden Schicht eines Condensators, durch welche hindurch sich die Elektricitätent der Metalle binden sollten, um nur allmählich zum Ausgleich zu gelangen.[2]) Er bemühte sich, diese Ansicht durch die Construction von eigenthümlichen trockenen Säulen zu beweisen, die im Grunde genommen aber nur aus einer Anhäufung von Condensatoren bestanden, wie dies hauptsächlich von Pfaff dargelegt wurde.[3]) Gleichwohl wurde diese „Vertheilungstheorie" selbst von Berzelius,[4]) Erman[5]) und Anderen angenommen und A. C. Becquerel suchte zuerst zwischen ihr und der rein chemischen Theorie von Parrot zu vermitteln,[6])

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 316, 1802. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 52, S. 81, 1811. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 52, S. 111, 1811. — [4]) Berzelius, Lehrb. d. Chem., 1835—40. — [5]) Gilbert Ann., Bd. 11, S. 81, 1802. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 25, S. 405; Bd. 26, S. 176 und Bd. 27, S. 5, 1824.

wandte sich indessen später entschieden der letzteren zu.[1])

115. Während noch der Kampf zwischen den vielen bis dahin aufgestellten Erklärungsversuchen für die Entstehung des galvanischen Stromes, zu denen sich inzwischen mannigfache naturphilosophische Speculationen unter dem Namen von dynamischen Theorien gesellt hatten, fortdauerte und während namentlich Pfaff mit unermüdlichem Eifer bestrebt war, all diesen abweichenden Anschauungen gegenüber die alte Contacttheorie Volta's in Geltung zu erhalten, traten für den rein chemischen Ursprung des Stromes zwei mächtige Vertheidiger in die Schranken, welche aus der innigen Verknüpfung der chemischen und galvanischen Erscheinungen auf das gegenseitige Bedingtsein derselben schlossen und ihre Ansicht durch eine eingehende, auf zahlreiche Versuche gestützte Beweisführung zu begründen bemüht waren. Zunächst war es der Genfer Professor Auguste de la Rive, 1801 bis 1864, welcher die Grundsätze dieser Theorie entwickelte.[2]) Darnach sollte die Strombildung ausschliesslich durch die chemische Wechselwirkung zwischen den sich berührenden Leitern und namentlich durch die Wirkung der Flüssigkeiten veranlasst werden. Von der Lebhaftigkeit des chemischen Processes hängt die Intensität des Stromes ab, ohne ihr indessen proportional zu sein; die blosse Berührung ohne chemische Veränderung kann keine elektrische Erregung bewirken. Die Richtung des Stromes wird dadurch bestimmt, dass das stärker angegriffene Metall

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 34, S. 51, 1827. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 37, S. 225; Bd. 38, S. 506 und Bd. 39, S. 297, 1828.

immer positiv elektrisch wird. Später dehnte de la Rive seine Betrachtungen auf alle chemischen Vorgänge aus.[1]) Bei jeder Verbindung und Trennung von Atomen sollte ein elektrischer Strom entstehen, dessen Stärke und Richtung vom Grade der Verwandtschaft abhängig ist. Elektricität und Chemismus sind nur verschiedene Formen derselben Kraft.

116. Aehnliche Ansichten wurden von Michael Faraday aufgestellt, welcher aber von seinen elektrolytischen Untersuchungen ausgehend die Stromintensität den chemischen Veränderungen geradezu proportional setzte. Der elektrische Strom besteht nach ihm in nichts Anderem, als in der Uebertragung oder Fortleitung der chemischen Verwandtschaftskräfte.[2]) Faraday suchte diese Behauptung durch zahlreiche Versuche zu beweisen, aus welchen hervorgehen sollte, dass jede chemische Action Elektricität erzeuge und dass mit jeder Aenderung, Vernichtung oder Umkehrung der chemischen Thätigkeit auch eine Aenderung, Vernichtung oder Umkehrung des Stromes verbunden sei.[3]) Er bestritt dabei nicht, dass in vielen Fällen beim blossen Contact eine elektrische Vertheilung stattfinden könne, betonte aber, dass durch die Fortpflanzung der inducirten Elektricität nothwendig eine Veränderung in den leitenden Theilchen bedingt sei, denn nirgends könne Kraft ohne Veränderung in der wirkenden Materie oder ohne Verbrauch einer anderen Kraft entstehen, während dies die Contacttheorie nothwendig voraussetzen müsse.

---

[1]) Compt. rend., S. 312, 1835; de la Rive, Recherches sur la cause de l'électr., 1836. — [2]) Phil. Trans., S. 425, 1834. — [3]) Phil. Trans., S. 61, 1840.

Die Theorien de la Rive's und Faraday's fanden zahlreiche Anhänger. Von jenen, welche sie weiter auszubilden suchten, sind ausser dem Oberbergrath Karl Bernhard Karsten in Berlin[1]) und Leopold Gmelin in Heidelberg[2]) namentlich A. C. Becquerel[3]) und Carlo Matteucci[4]) zu erwähnen. Der erstere stellte die Behauptung auf, dass jeder chemische Process von einer Elektricitätsentwicklung begleitet sei, ganz unabhängig von der Anwesenheit eines Elektrolyts; so sollte z. B. auch bei der Verbrennung der verbrennende Körper sich negativ laden und lediglich bei Zersetzungen durch doppelte Wahlverwandtschaft sollte keine Elektricität erzeugt werden. Dem widersprach Matteucci, indem er aus eigenen und fremden Versuchen folgerte, dass die Elektricitätserregung durch die Gegenwart eines zersetzbaren Leiters und durch den Eintritt der Zersetzung bedingt sei, ohne indessen alle diesbezüglichen Erscheinungen aufklären zu können.

117. Gegenüber diesen neuen Gegnern der Contacttheorie fand dieselbe namentlich in Pfaff,[5]) Fechner,[6]) und Poggendorff[7]) entschiedene Vertheidiger. Vor Allem wurde von dem erstgenannten immer wieder der Volta'sche Fundamentalversuch als Grundlage der Theorie hervorgehoben und dabei geltend gemacht, dass derselbe sich auch in trockener Luft, ja selbst im Vacuum

[1]) Karsten, Ueb. d. Contactelektr., 1836. — [2]) Gmelin, Theor. Chem., 3. Aufl., Bd. 1, S. 187; 5. Aufl., Bd. 1, S. 315, 1852; Pogg. Ann., Bd. 44, S. 1, 1838. — [3]) Compt. rend., Bd. 28, S. 658, 1849 und Bd. 38, S. 758, 1854. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 10, S. 78, 1844; Bd. 16, S. 257, 1846; Bd. 34, S. 281, 1852; Compt. rend., Bd. 39, S. 258, 1854. — [5]) Pfaff, Parallele der chem. u. Contacttheorie, 1845. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 42, S. 481, 1837. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 353, 1841.

anstellen lasse[1]) und dass ihn Péclet sogar mit gefirnissten Zinkplatten wiederholt habe.[2]) De la Rive bestritt die Richtigkeit dieser Behauptung und wollte das Gelingen dieses Versuches dem Einfluss der an den Metallen anhaftenden condensirten feuchten Luftschicht oder sonstigen, oberflächlich kaum erkennbaren chemischen Veränderungen zuschreiben;[3]) durch die Wirksamkeit dieser Luftschicht sollte auch die auffallende Uebereinstimmung der Spannungsreihe mit der Reihe der Oxydirbarkeit ihre natürliche Erklärung finden. Durch diese Erwiderung konnte jener Einwurf zwar beseitigt erscheinen, doch ohne dass es zu einer experimentellen Lösung des Problems gekommen wäre. Schwerer wiegend waren die Einwendungen, welche gegen die positiven Behauptungen de la Rive's vorgebracht wurden. Fechner zeigte durch sein sogenanntes experimentum crucis, dass weder die Richtung, noch die Stärke der elektromotorischen Kraft durch die Intensität der chemischen Vorgänge bedingt sei. Dasselbe thaten später Pfaff[4]) und Svanberg.[5]) Es wurde ferner durch Versuche mit zwei Platinplatten, von welchen die eine chemisch rein, die andere mit irgend einem Gas beladen ist, nachgewiesen, dass keineswegs nur dann Ströme auftreten, wenn auch bei ungeschlossener Kette ein chemischer Angriff erfolgt, da in diesem und in ähnlichen Fällen ein elektrischer Strom ohne alle vorherige chemische Action erregt wird. Die von de la Rive und Faraday angeführten Bei-

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 16, S. 286, 1821. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 2, S. 250, 1816. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 39, S. 311, 1828. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 42, S. 509, 1837. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 73, S. 290, 1848.

spiele, in welchen bei chemischer Unthätigkeit auch keine Stromentwicklung stattfindet, wurden von Fechner durch zu geringe Intensität derselben, durch zu rasche Polarisation oder durch ein sonstiges gegenseitiges Aufheben der elektrischen Kräfte erklärt. Wenn auch manche dieser Streitfragen dabei keine definitive Erledigung fand, so dass in den letzten Jahren Professor Franz Exner in Wien die Versuche von neuem aufnehmen und in einem der rein chemischen Theorie günstigen Sinne auslegen konnte,[1]) so wurde durch diese Controversen doch wenigstens festgestellt, dass ein chemischer Angriff vor Schliessung der Kette zur Elektricitätserregung keineswegs nothwendig ist, und dies veranlasste de la Rive, seine bisherige Erklärungsweise aufzugeben, während Faraday an seinen Anschauungen bis zu seinem Lebensende festhielt.

118. Die Discussionen über die Entstehung des Stromes waren indessen auch auf die Contacttheorie nicht ohne Einfluss geblieben. Während Volta sich durch seinen Fundamentalversuch bewogen fand, den Sitz der elektrischen Erregung vorzugsweise in die Berührungsstelle der Metalle, statt, wie er ursprünglich gewollt hatte, an die Grenzflächen derselben mit der Flüssigkeit zu verlegen, sah man sich sehr bald genöthigt, auch die Elektricitätserregung beim Contact der Flüssigkeiten mit den festen Leitern und selbst untereinander in Berücksichtigung zu ziehen. Man schrieb ihr jedoch zunächst blos eine verstärkende Wirkung auf den Strom zu. Als man aber erkannte, dass der Durchgang des Stromes durch eine Flüssig-

[1]) Wiedemann Ann., Bd. 6, S. 347, 1879; Bd. 9, S. 591, 1880; Bd. 11, S. 1034, 1881; Bd. 15, S. 412, 1882.

keit wahrscheinlich ausnahmslos von einer Zersetzung derselben begleitet ist, wurde diese letztere als das Mittel betrachtet, durch welches die Leitung des Stromes und damit seine ununterbrochene Fortdauer ermöglicht wird. Damit war zwar der Faraday'sche Vorwurf der unausgesetzten Arbeitsleistung ohne entsprechenden Kraftaufwand behoben, zugleich aber hatte man den chemischen Vorgängen schon einen wesentlichen Einfluss an der Strombildung eingeräumt. Sobald sich daher im Laufe der Erörterungen über die Entstehungsweise des Stromes zeigte, dass dessen Stärke und Richtung wesentlich von der chemisch veränderlichen Flüssigkeit abhängt, und sobald man aus diesem Grunde im Contact derselben mit anderen Leitern schliesslich geradezu die Hauptquelle der Elektricitätserregung zu erblicken begann, war der Boden geebnet, auf dem sich eine zwischen beiden Richtungen vermittelnde Theorie der galvanischen Erscheinungen aufbauen konnte, und diese wurde in der That in den Jahren 1836 bis 1844 durch Schönbein geschaffen.[1])

119. Nach Schönbein's Theorie ist der Ursprung des elektrischen Stromes in den Grenzstellen des Elektrolyts mit den ihn berührenden Körpern zu suchen. Da erwiesenermassen eine chemische Thätigkeit vor Schluss der Kette nicht stattzufinden braucht, genügt es anzunehmen, dass der Leiter erster Art eine merkliche Anziehungskraft auf einen der Bestandtheile des Elektrolyts ausübt. Durch diese wird gleichzeitig das elektrische und

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 39, S. 351, 1836; Bd. 43, S. 229 u. Bd. 44, S. 59, 1839; Bd. 57, S. 39, 1842; Bd. 78, S. 289, 1849; Schönbein, Beiträge zur phys. Chemie, S. 72, 1844.

das chemische Gleichgewicht in beiden Körpern gestört und es tritt eine Polarisation der einander berührenden Materien ein, welche sich durch alle Theilchen der Kette fortpflanzt; doch erst in dem Augenblicke, wo der Stromkreis geschlossen wird, können die entgegengesetzten Elektricitäten der benachbarten Theilchen, ihrer gegenseitigen Anziehung folgend, zum Ausgleich gelangen und es kann ein Strom entstehen, der sich in Folge der dabei eintretenden Abscheidung der Jonen an den Elektroden durch die Wiederholung derselben Vorgänge beständig erneuert. Bei dieser Theorie wird demnach die zur Erhaltung des Stromes nothwendige elektromotorische Kraft aus der chemischen Verwandtschaft abgeleitet, indem während der ganzen Dauer des Stromes ein chemischer Process vor sich geht. Was die zur Stromerzeugung, nämlich zur Erregung der Spannung erforderliche Kraft betrifft, so wird diese durch die Annäherung der beiden Körper hervorgerufen, mit welcher nothwendig auch ein gewisser Kraftaufwand verbunden ist. Wenn die ausgeschiedenen Körpertheilchen nicht durch chemische Verbindung oder sonst irgendwie fortgeschafft werden, entsteht zwar ein Strom, aber nur von momentaner Dauer. Es gelingt auf diese Weise mithin, sowohl die Strömungserscheinungen, wie die Spannung an den Polen der offenen Kette zu erklären, und zwar in Uebereinstimmung mit R. Kohlrausch's Versuchen, wonach die elektromotorische Kraft der geschlossenen dem Spannungsunterschiede der offenen Säule proportional ist,[1]) und es wird dabei zugleich das Verhalten der metallischen und der flüssigen Leiter unter einen einheitlichen Ge-

[1]) Pogg. Ann., Bd. 75, S. 88, 1848.

sichtspunkt gebracht, so dass auch Volta's Fundamentalversuch dadurch seine Erledigung findet.

In Schönbein's Theorie sind die Vorzüge der beiden gegnerischen Richtungen vereinigt und ihre Mängel nach Möglichkeit vermieden; es wird durch sie die Elektricitätserregung im Contact auch bei Ausschluss chemischer Processe begründet und gleichzeitig eine ziemlich sichere Vorhersage der Stromesrichtung ermöglicht. Während daher die Physiker sich früher, je nachdem sie auf die eigentliche Strömung oder auf die elektrostatischen Spannungserscheinungen mehr Gewicht legten, mit Vorliebe entweder der rein chemischen oder der strengen Contacttheorie zuwandten, hat jetzt diese vermittelnde Erklärungsweise die meiste Verbreitung, obwohl man freilich zugeben muss, dass der langjährige Streit zwischen den verschiedenen Theorien bis heute noch immer nicht endgiltig erledigt ist.

Fünftes Capitel.

Die magnetischen und elektrodynamischen Wirkungen des galvanischen Stromes.

120. Schon seit dem Alterthume waren die magnetischen und elektrischen Erscheinungen vielfach verwechselt worden und, auch nachdem sie durch Gilbert eine strenge Unterscheidung erfahren hatten, gab die auffallende Aehnlichkeit in ihren Gesetzen, wie sie später namentlich durch Coulomb festgestellt wurde, zu vielfachen Bemühungen Anlass, wenigstens Beziehungen zwischen den einander so verwandten und gleich geheimnissvollen Naturkräften aufzufinden. Das Bestreben, den

elektrischen Charakter des Gewitters zu erweisen, hatte bereits Franklin 1750 zum Versuche bewogen, Eisen durch den elektrischen Funken magnetisch zu machen, um dadurch im kleinen die längst bekannten magnetisirenden Wirkungen des Blitzes nachzuahmen; van Marum hatte aber 1786 die dabei eintretende Erschütterung als den wahren Grund für das Gelingen dieses Versuches bezeichnet. Die seitherigen Arbeiten auf diesem Gebiete waren resultatlos und liefen grossentheils auf philosophische Speculationen hinaus, sofern sie nicht etwa Vergleiche zwischen den beiderseitigen Erscheinungen zum Gegenstande hatten. Hieran wurde durch die Entdeckung des Galvanismus wenig geändert. Die mannigfachen Behauptungen, dass es endlich gelungen sei, eine magnetische Wirkung des elektrischen Fluidums wahrzunehmen, konnten nicht viel Werth beanspruchen, da ihnen eine klare, gesetzmässige Formulirung der Thatsachen fehlte. Diese wurde erst am 21. Juli 1820 von Johann Christian Oersted, Professor der Physik in Kopenhagen (Fig. 23), gegeben und damit die Entdeckung der elektromagnetischen Kräfte in wissenschaftlicher Weise gemacht.[1]) Oersted, am 14. August 1777 geboren und 9. März 1851 gestorben, bemerkte im Juli 1820, nachdem er sich schon jahrelang mit dem Gegenstande beschäftigt hatte, die magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes. Diese waren freilich ganz anderer Art, als man bis dahin vermuthet hatte. Statt einer directen Anziehung oder Abstossung des magnetischen Poles durch den Schliessungsdraht, wie man erwartete, fand Oersted vielmehr eine Transversalkraft, welche den

[1]) Schweigger Journ., Bd. 29, S. 275, 1820.

Pol senkrecht zu der Ebene zu bewegen sucht, die durch ihn und das ihm zunächst liegende geradlinige Stück der Leitung bestimmt wird. Oersted bemühte sich nun, nach dem Principe der Gegenseitigkeit der Wirkungen

Fig. 23.

Hans Christian Oersted.

auch einen Stromkreis durch einen festen Magnet in Bewegung zu setzen und auch dies gelang ihm, als er ein kleines Kastenelement leicht drehbar aufhing und dem Einflusse des Magnets überliess.[1])

[1]) Schweigger Journ., Bd. 29, S. 364, 1820.

121. Oersted's Entdeckung wurde rasch allgemein bekannt und an allen Orten machte man die Versuche nach. Es handelte sich hauptsächlich darum, die beobachteten Thatsachen in einem Gesetze zusammenzufassen. Schon Oersted hatte die Ablenkung der Magnetnadel abhängig von der Stromstärke gefunden und die Richtung derselben durch gewisse Regeln für besondere Fälle bestimmt. Seebeck in Berlin verglich in einem Vortrag am 14. December 1820 den Strom mit einem Magnete, welcher die gleichen Wirkungen äussert, und bezeichnete ihn dementsprechend als elektrisch-chemischen Magnet; die Pole sollten nach den gleichnamigen Himmelsgegenden gerichtet sein, wenn sich der Stromkreis in einer dazu senkrechten Verticalebene mit dem positiv elektrischen Metall im Osten und dem negativ elektrischen im Westen befindet.[1]) Anschaulicher war die Vorschrift zur Bestimmung der Kräfte, welche bereits am 2. October 1820 Ampère gegeben hatte. Darnach wird der Nordpol einer Nadel stets zur linken Hand eines Schwimmers abgelenkt, welcher sich mit dem Strome bewegt und dabei auf die Nadel hinblickt.[2]) Biot und Savart gelang es am 30. October 1820, für die Stärke der elektromagnetischen Wirkung durch einfache Schwingungsversuche eine mathematische Formel zu ermitteln, nach welcher die Kräfte eines überaus langen geradlinigen Stromes auf einen Magnetpol in verschiedenen Entfernungen sich verkehrt wie die Abstände des Poles von dem Leiter verhalten und senkrecht zu der durch Pol und Leiter gehenden Ebene

---

[1]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 289, 1820. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 15, S. 67, 1820.

sind;[1]) der Einfluss des Erdmagnetismus auf die Nadel wurde bei ihren Versuchen durch entsprechende Annäherung eines zweiten, festen Magnets aufgehoben. Laplace zeigte darauf 1821, dass dieses Gesetz von Biot und Savart wesentlich mit der Voraussetzung gleichwerthig ist, dass die Wirkung eines Stromelementes dem Quadrate der Entfernung des Poles von demselben verkehrt proportional ist und auf der durch das Element und den Pol gelegten Ebene senkrecht steht.[2]) Eine scheinbar neue Entdeckung veröffentlichte am 9. November 1820 Boisgiraud, indem er an einer auf Wasser schwimmenden Magnetnadel ausser der Ablenkung aus dem Meridian eine directe Anziehung durch den Leitungsdraht wahrnahm;[3]) doch lässt sich diese Erscheinung aus dem Biot-Savart'schen Gesetze leicht als unmittelbare Folgerung herleiten, wie bald darauf von Ampère gezeigt wurde.

122. Inzwischen hatten die zahlreichen Versuche über die magnetischen Wirkungen des Stromes mehrere bedeutende Entdeckungen zur Folge gehabt. Dominique François Jean Arago, geboren 26. Februar 1786, gestorben 2. October 1853, hatte schon im September 1820, als er, durch Oersted's Beobachtung veranlasst, den magnetischen Charakter des Leitungsdrahtes prüfen wollte, entsprechend der späteren Wahrnehmung von Boisgiraud, bemerkt, dass Eisenfeilspäne durch den Strom angezogen werden.[4]) Er schloss daraus,

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 15, S. 222, 1820. — [2]) Journal des Savants, April 1821. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 15, S. 279, 1820. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 15, S. 93, 1820.

ähnlich wie nach ihm Seebeck, dass der Schliessungsdraht geradezu als Magnet betrachtet werden könne, selbst wenn er statt aus Eisen aus irgend einem anderen Metall bestehe. Erst 1822 wurde von Davy nachgewiesen, dass diese scheinbare Anziehung der Eisenfeilspäne eigentlich in einer peripherischen Anordnung derselben um den Leitungsdraht ihren Grund hat, so dass sie diesen in einer concentrisch zusammenhängenden Hülle umgeben.[1]) Arago suchte nun in gleicher Weise auf eine Nähnadel aus Stahl zu wirken, welche zum Stromkreis senkrecht stand, und in der That gelang es ihm, dieselbe durch den Strom nicht nur anziehen zu lassen, sondern auch bleibend magnetisch zu machen. Eigenthümlich schien hierbei, dass nicht der Durchgang des Stromes durch die Nadel den Magnetismus erregte, wie man dies bis dahin hatte bewerkstelligen wollen, sondern dass diese magnetisirende Wirkung des Stromes vielmehr in einer zum Leitungsdraht senkrechten Richtung thätig war. Dies veranlasste André Marie Ampère, Professor der Mathematik in Paris, 22. Januar 1775 geboren, 10. Juni 1836 gestorben (Fig. 24), zur Verstärkung der Wirkung den Draht mehrmals in Spiralform um die Nadel zu winden. Nach kurzer Dauer des Stromes war die letztere ziemlich magnetisch; ihre Polarität zeigte sich von der Art des Gewindes abhängig; ein Wechsel in der Richtung der Windungen rief einen sogenannten Folgepunkt hervor. Bald darauf kam im November Seebeck selbständig auf die gleichen Entdeckungen. Er machte eine Stahlnadel bleibend magnetisch, indem er sie in den magnetischen Meridian legte und mit dem Schliessungsdraht

[1]) Gilbert Ann., Bd. 71, S. 225, 1822.

wiederholt in derselben Richtung darüber strich.[1]) Brewster war der erste, welcher 1826 einen Elektromagnet in Hufeisenform herstellte.[2]) Einer der grössten derartigen Magnete befindet sich im physikalischen In-

Fig. 24.

André Marie Ampère.

stitut zu Berlin; seine beiden durch ein Eisenstück verbundenen Schenkel sind 22 Zoll (58 Centimeter) lang

[1]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 289, 1820. — [2]) Edinburg Journal of Science, S. 210, 1826.

durch die magnetisirende Kraft blos gleich gerichtet werden.[1])

124. Wenn man einen verticalen Leitungsdraht in verschiedene Stellungen gegen einen Pol einer horizontal beweglichen Magnetnadel bringt, wird dieser vom Strome aus gesehen immer in der gleichen Richtung abgelenkt; diese Regel war schon von Ampère in seinem Gesetze ausgesprochen worden. Faraday machte dieselbe Beobachtung, glaubte sie aber in einem anderen Sinne auslegen zu müssen, indem er annahm, dass Strom und Pol das Bestreben hätten, sich gegenseitig zu umkreisen. Um diese Ansicht als richtig nachzuweisen, versuchte er eine beständige Rotation des einen um den anderen zu bewerkstelligen und in der That gelang ihm dies. Nach einem erst etwas complicirten Apparate construirte er sich hierzu eine sehr einfache Vorrichtung, bei welcher ein freihängender Messingdraht in Quecksilber taucht und, sobald ein Strom durch ihn geschickt wird, durch die Einwirkung eines im Quecksilber aufrechtstehenden Magnetpols um diesen rotirt.[2]) Umgekehrt gerieth ein im Quecksilber schwimmender Magnet in Drehung um den Leitungsdraht, wenn durch diesen ein Strom ging.[3]) Bei der erstgenannten Vorrichtung zeigte sich übrigens die Anwendung des Magnets nicht einmal nothwendig, da der Messingdraht schon durch den Einfluss des Erdmagnetismus in Rotation versetzt wurde. Ampère wiederholte Faraday's Beobachtungen und vervollständigte sie, indem er einen Magnet und ebenso einen beweglichen Stromleiter sogar zur Drehung um die

[1]) Ampère, Recueil d'observ. électrodyn., 1822. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 18, S. 330, 1821. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 18, S. 337, 1821.

eigene Axe brachte[1]) und ferner durch einen geschlossenen Strom einen Theil eines zweiten Stromkreises zur Rotation veranlasste.[2]) Er zeigte ausserdem, dass eine in sich geschlossene unveränderliche Strombahn eine andere eben solche oder einen Magnet nicht in beständige Bewegung versetzen kann.[3]) Durch diese Versuche wurde aber gerade die Unzulänglichkeit der Faraday'schen Erklärung dargethan, während Ampère den Nachweis liefern konnte, dass sämmtliche Erscheinungen mit seiner eigenen Theorie in voller Uebereinstimmung ständen.[4]) Von Davy wurde endlich 1823 auch die Rotation flüssiger Stromleiter unter dem Einfluss geschlossener Ströme und von Magneten beobachtet.[5])

125. Nachdem die wesentlichsten Thatsachen für die Wechselwirkung zweier galvanischer Ströme ermittelt waren, unternahm es Ampère, für dieselben mathematische Beziehungen aufzustellen.[6]) Zu diesem Zwecke suchte er die elektrodynamischen Kräfte, wie er sie von nun an nannte, vor Allem für zwei Stromelemente zu bestimmen. Er ging dabei von gewissen einfachen Versuchen aus, aus welchen er folgerte, dass das Gesetz vom Parallelepiped der Kräfte auch für die elektrodynamischen Wirkungen Giltigkeit besitzt, dass ferner ein geschlossener Stromkreis auf ein Element stets in senkrechter Richtung wirksam ist, und dass endlich

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 18, S. 88 u. 313, 1821. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 20, S. 68, 1822. — [3]) Ampère, Recueil d'observ. électrodyn., 1822. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 37, S. 113, 1828. — [5]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 25, S. 64, 1824. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 20, S. 60, 1822; Mém. de l'Acad. de Paris, S. 184, 1823.

durch einen geschlossenen kreisförmigen Strom ein beweglicher Leiter nicht in fortdauernde Rotation versetzt werden kann, wenn die Endpunkte des letzteren in der Drehungsaxe liegen und diese senkrecht zur Ebene des Stromkreises durch den Mittelpunkt desselben geht. Ampère betrachtete es ferner als wahrscheinlich, dass die Kräfte zwischen zwei Stromelementen in der Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte thätig sind, und indem er sie der Grösse der Elemente und den Stromintensitäten proportional setzte, erhielt er aus diesen Annahmen sein berühmtes Grundgesetz der Elektrodynamik, nach welchem die Wirkung zweier Elemente dem Quadrat ihrer Entfernung verkehrt proportional ist und in einer Abstossung besteht, wenn die beiden Elemente in gerader Linie hintereinander, dagegen in einer doppelt so grossen Anziehung, wenn sie parallel nebeneinander liegen; wenn die Elemente einander parallel und so gerichtet sind, dass sie mit der Verbindungslinie einen Winkel von $35^0\ 16'$ machen, üben sie keine Wirkung aufeinander aus. Es würde demnach auf alle Elemente, die einem Doppelkegel angehören, in dessen Spitze das eine Stromelement in der Richtung der Axe liegt und der die entsprechende Oeffnung besitzt, weder eine Anziehung, noch eine Abstossung stattfinden. Diese letzte Folgerung wurde 1845 von Grassmann gezogen und als bedenklicher Einwand gegen das Ampère'sche Gesetz hervorgehoben[1]). Hermann Grassmann, Gymnasiallehrer in Stettin, geboren 15. April 1809, gestorben 26. September 1877, suchte daher eine andere Formel herzuleiten, indem er von der Wirkung von Strömen ausging, welche die Schenkel eines Win-

[1]) Pogg. Ann., Bd. 64, S. 1, 1845.

kels durchfliessen; er erhielt auf diese Weise Kräfte, welche am stärksten sind, wenn beide Elemente auf ihrer Verbindungslinie senkrecht stehen, dagegen gleich Null sind, wenn dieselben in die Verbindungslinie hineinfallen; sie sind indessen nicht, wie jene von Ampère, für beide Elemente von gleicher Grösse und Richtung. Franz Ernst Neumann in Königsberg, geboren 11. September 1798, zeigte darauf in demselben Jahre, dass man auf mathematischem Wege noch zu weiteren Formeln gelangen kann, welche alle für die bisher allein der Beobachtung unterzogenen geschlossenen Ströme zu den gleichen, durch die Erfahrung bestätigten Resultaten führen,[1]) und von Professor Josef Stefan in Wien wurden dann 1869 alle möglichen Fälle durch eine einfache Betrachtung hergeleitet und eingehend besprochen.[2]) Der exacte Nachweis für die Giltigkeit der Ampère'schen Theorie, wenigstens in ihrer Anwendung auf geschlossene Ströme, wurde 1846 durch genaue Messungen in einer höchst werthvollen Arbeit von Wilhelm Weber geliefert.[3])

126. Die Entdeckung der magnetischen Wirkungen des galvanischen Stromes gab Veranlassung, die alten darauf gerichteten Versuche mit der Spannungselektricität von neuem wieder aufzunehmen. Schon im November 1820 gelang es Arago, eine Stahlnadel durch den elektrischen Funken zu magnetisiren, indem er sie mit dem Schliessungsdraht mehrmals spiralförmig umwand.[4]) Fast gleichzeitig bewerkstelligten dies auch Davy, welcher die Nadel dabei blos senkrecht dem einfachen Drahte genähert

[1]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 24, 1845 u. S. 6, 1847. — [2]) Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, S. 59, 1869. — [3]) Abh. bei Begründ. d. Sächs. Ges. d. Wiss., S. 211, 1846. — [4]) Gilbert Ann., Bd. 68, S. 17, 1821.

hielt,[1]) und Yelin in München, der die gleichen Resultate nicht nur mit dem Entladungsschlag der Kleist'schen Flasche, sondern auch mit der Elektrisirmaschine erzielte.[2]) G. Schmidt in Giessen zeigte 1821, dass die von Ampère entdeckten elektrodynamischen Kräfte auch zwischen den Entladungsströmen der Elektrisirmaschinen thätig sind,[3]) und Colladon bewies endlich 1826, dass auch die Magnetnadel durch solche Ströme nach der Regel Ampère's eine Ablenkung erfährt.[4]) Damit war die vollständige Identität zwischen den Erscheinungen des Galvanismus und der Reibungselektricität auch in Bezug auf die magnetischen und elektrodynamischen Wirkungen dargethan.

Sechstes Capitel.

Beziehungen zwischen Elektricität und Wärme.

127. Im Gegensatze zu Ampère's Theorie wurden namentlich von Thomas Johann Seebeck in Berlin, 1770 bis 1831, die elektromagnetischen Erscheinungen in dem Sinne aufgefasst, dass er den elektrischen Strom als eine Fortbewegung kleiner Elementarmagnete betrachtete, so dass ein jeder Punkt des Schliessungsdrahtes von ihm zugleich als Nordpol und Südpol angesehen wurde. Er leitete hieraus eine neue Theorie des gal-

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 71, S. 225, 1822. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 66, S. 407, 1820 u. Bd. 68, S. 17, 1821. — [3]) Gilbert Ann., Bd. 68, S. 28, 1821. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 33, S. 62, 1826.

vanischen Stromes her, nach welcher im Gegensatze zur Contacttheorie nicht die gegenseitige Einwirkung zweier Leiter an einer einzigen Berührungsstelle, sondern vielmehr die Ungleichheit dieser Einwirkung an verschiedenen Contactstellen den Strom erzeugen sollte. Um diese Ansicht zu beweisen, stellte er Ende Juli 1821 einen Stromkreis her, der blos aus zwei Metallen zusammengesetzt war, und brachte eine Verschiedenheit an den Berührungspunkten dadurch hervor, dass er den einen erwärmte oder abkühlte. In der That entstand ein Strom, dessen Intensität innerhalb gewisser enger Grenzen der Temperaturdifferenz zwischen beiden Contactstellen direct proportional war.[1]) Bald darauf wurden auch von Yelin diese „thermomagnetischen" Ströme wahrgenommen.[2]) Seebeck fasste, seiner Theorie entsprechend, die Entdeckung in dem Sinne auf, dass durch die Erwärmung einer Berührungsstelle die „magnetische Spannung" einen Strom in einer bestimmten Richtung erzeuge, und ordnete die Metalle nach Analogie der Volta'schen Spannungsreihe in eine thermoelektrische Reihe, welche namentlich 1844 von Hankel revidirt und ergänzt wurde.[3]) Die Messungen der elektromotorischen Kräfte, welche zuerst 1829 von Antoine César Becquerel[4]) und dann besonders 1858 von Matthiessen[5]) und 1864 von Edmond Becquerel[6]) angestellt wurden, zeigten, dass ein ähnliches Spannungsgesetz wie das Volta'sche auch für die thermoelektrischen Erscheinungen gilt. Walker

[1]) Gilbert Ann., Bd. 73, S. 115 u. 430, 1823. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 73, S. 415, 1823. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 62, S. 197, 1844. — [4]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 41, S. 353, 1829. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 103, S. 412, 1858. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 8, S. 415, 1864.

versuchte 1825 [1]) und nach ihm namentlich Faraday [2]) und Gore [3]) auch Thermoströme zwischen Metallen und elektrolytischen Flüssigkeiten, und Nobili [4]) 1828, sowie Wild [5]) 1858 solche zwischen zwei Elektrolyten nachzuweisen, doch können dabei möglicherweise auch chemische Einflüsse thätig gewesen sein.

128. Durch die Entdeckung der Thermoelektricität war eine neue Quelle elektrischer Erscheinungen erschlossen worden, welche, wie sich sehr bald zeigte, Ströme von sehr constanter Intensität zu liefern vermochte. Um ihre Wirkung zu verstärken, wurden mehrere „Elemente" zu einer „Säule" zusammengefügt. Die ersten derartigen Thermosäulen aus dem Jahre 1823 rühren von Oersted und Fourier her; im Wesentlichen bestanden sie aus einer Anzahl paralleler Stäbe von Wismuth und Antimon, die an den Enden abwechselnd aneinandergelöthet waren.[6]) Es gelang ihnen, mit denselben chemische Zersetzungen hervorzubringen, wie denn im Laufe der Zeit auch alle sonstigen Wirkungen der galvanischen Ströme und 1851 durch R. Kohlrausch selbst die elektroskopischen Erscheinungen an den Thermosäulen nachgewiesen wurden.[7]) Oersted verwendete seine Vorrichtung auch schon zu der Untersuchung der strahlenden Wärme. 1832 wurde von Melloni zu diesem Zwecke sogar ein besonderer Apparat construirt,[8]) der 1834 durch Nobili einige Ver-

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 4, S. 327, 1825. — [2]) Faraday, Exper. research., § 1932, Phil. Trans., 1840. — [3]) Phil. Mag., Bd. 43, S. 54, 1872. — [4]) Schweigger Journ., Bd. 53, S. 271, 1828. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 103, S. 353, 1858. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 22, S. 375, 1823. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 82, S. 411, 1851. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 27, S. 439, 1832 und Bd. 35, S. 118, 1835.

besserungen erfuhr.[1]) Dadurch wurden erst messende Beobachtungen auf diesem Gebiete ermöglicht. Von G. Wiedemann und Franz wurde diese Methode 1850 auch zur Bestimmung des Wärmeleitungsvermögens von Stäben benützt,[2]) während Becquerel mit Hilfe kleiner thermoelektrischer Elemente nicht nur die Temperaturen in Flammen, sondern auch an anderen direct unzugänglichen Orten, wie z. B. im Innern lebender organischer Körper, ermittelte.[3]) Die Wirksamkeit und Brauchbarkeit der Thermosäulen wurde wesentlich erhöht, seitdem man auf Rollmann's Vorschlag im Jahre 1856 anstatt der bis dahin gebräuchlichen Antimon-Wismuth-Elemente Legirungen von Metallen zu verwenden begann.[4]) Kräftige Säulen wurden namentlich 1864 von Bunsen,[5]) 1865 von Markus,[6]) 1866 von E. Becquerel,[7]) 1869 von Mure und Clamond[8]) und 1871 von Fr. Noë[9]) construirt. Dieselben zeigen in der Zusammensetzung und Anordnung manche Eigenthümlichkeiten, die hauptsächlich auf die Steigerung der Wirkung und der Dauerhaftigkeit berechnet sind. Bisher ist die Thermosäule als Stromquelle meist nur zu wissenschaftlichen Zweken in Anwendung gekommen.

129. Schon Seebeck bemerkte, dass der Satz von der Proportionalität der thermoelektromotorischen Kraft mit der Temperaturdifferenz durchaus keine allgemeine

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 36, S. 525, 1835. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 79, S. 497, 1850. — [3]) Becquerel, Traité de l'électr., Bd. 4, S. 3, 1834—40. — [4]) Dingler Journ., Bd. 139, S. 422, 1856. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 123, S. 505, 1864. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 124, S. 629, 1865. — [7]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 8, S. 432, 1866. — [8]) Compt. rend., Bd. 68, S. 1255, 1869. — [9]) Dingler Journ., Bd. 200, S. 10, 1871 und Bd. 224, S. 276, 1877.

Giltigkeit besitzt. Im Gegentheil zeigte sich bei fortgesetzter Steigerung dieser Differenz ein Verschwinden und selbst eine Richtungsänderung des Stromes, eine Erscheinung, welche namentlich 1856 von W. Thomson[1]) und später von Tait[2]) eingehend studirt wurde. Thomson stellte die Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft von der Temperaturdifferenz graphisch durch Linien dar und bezeichnete jene Stelle, für welche eine Umkehr in der Stromesrichtung erfolgt, als den neutralen Punkt. Auf Grund dieser Versuche leitete Avenarius 1863 eine Formel her, durch welche diese Linien als Parabeln bestimmt werden und welche mit der Erfahrung in der That ziemlich im Einklange steht.[3]) Eine Theorie der thermoelektrischen Erscheinungen hatte schon 1852 Clausius zu geben gesucht, welcher dieselbe später weiter ausführte.[4]) Eine andere Theorie wurde 1875 von F. Kohlrausch aufgestellt.[5])

130. Die Wärmewirkungen der elektrischen Ströme waren schon in der ersten Zeit nach der Erfindung der Säule wahrgenommen worden. Das Entzünden brennbarer Substanzen durch Steffens in Freiburg,[6]) das Glühen von dünnen Drähten, wie es zuerst P. L. Simon in Berlin[7]) und nach ihm namentlich Pfaff und van Marum darstellten,[8]) und ebenso die schon von den ersten Experimentatoren bemerkten Funkenerscheinungen wurden geradezu als ebensoviele Beweise für

---

[1]) Phil. Trans., Bd. 3, S. 698, 1856. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 152, S. 427, 1874. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 119, S. 406, 1863. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 87, S. 415, 1852; Clausius, Mech. Wärmetheorie, Bd. 2, S. 172, 1880. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 156, S. 601, 1875. — [6]) Gilbert Ann., Bd. 7, S. 522, 1801. — [7]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 393, 1801. — [8]) Gilbert Ann., Bd. 10, S. 121, 1802.

die Identität der galvanischen mit den elektrischen Erscheinungen betrachtet. Simon[1]) und Pfaff[2]) fanden, dass durch die Vergrösserung der Platten in einer Säule die Funkenbildung und die Wärmewirkung beträchtlich gesteigert würden, und hauptsächlich diese Beobachtung war es, welche zu mannigfachen Umgestaltungen in der äusseren Form der galvanischen Elemente Veranlassung gab. Davy verglich 1802 die Temperaturerhöhung mit der chemischen Zersetzung und bemerkte, dass beide gleichzeitig zunähmen.[3]) Alle diese, sowie die zahlreichen anderen Untersuchungen, welche über diese Erscheinungen auch weiterhin immer von neuem angestellt wurden, vermochten jedoch zu keinen Gesetzen für dieselben zu führen. Zwar sprach 1817 Oersted auf Grund seiner messenden Beobachtungen über die Erwärmung eines Drahtes die Behauptung aus, dass dieselbe dem Widerstande gegen den Durchgang des Stromes proportional sei,[4]) und Davy bestätigte 1821 diese Ansicht, indem er zeigte, dass von gleich langen und gleich dicken Drähten aus verschiedenem Material die schlechter leitenden rascher in's Glühen gerathen.[5]) Zu ähnlichen Resultaten gelangte auch 1828 de la Rive.[6]) Aber James Prescott Joule in Salford, geboren 24. December 1818, war es erst, der 1841 das bestimmte Gesetz aufstellte, nach welchem die in einem Drahte oder auch in einem flüssigen Leiter in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge dem Widerstande und dem Quadrate der

---

[1]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 385, 1801. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 10, S. 234, 1802. — [3]) Nicholson Journ., S. 135, 1802. — [4]) Schweigger Journ., Bd. 20, S. 211, 1817. — [5]) Phil. Trans., S. 7, 1821. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 40, S. 371, 1829.

Stromstärke direct proportional, im Uebrigen aber von der Natur des Leiters unabhängig ist.[1]) Diese Formel wurde 1843 von Edm. Becquerel[2]) und besonders 1844 von Lenz[3]) durch eingehende und genaue Versuche als richtig erwiesen. Johann Müller[4]) und Zöllner[5]) ermittelten darauf 1848, respective 1859 wenigstens annähernd auch die Gesetze für das Glühen von Drähten.

Damit hatte endlich die Aufgabe ihre Lösung gefunden, welche bei Vielen die Veranlassung zu diesen Bemühungen gewesen war, nämlich das Verlangen, durch die Erwärmung des Drahtes die Stromintensität bestimmen zu können. De la Rive hatte dies 1834 mit einem Metallthermometer zu erreichen gesucht;[6]) wegen der ungleichen Erwärmung der verschiedenen Metalle waren aber dessen Angaben ziemlich ungenau gewesen. Poggendorff schlug deshalb 1841 zur Messung der Stromstärke durch die thermischen Wirkungen das von Riess verbesserte Luftthermometer vor.[7]) Ein anderer Apparat von Hankel aus dem Jahre 1848 beruht endlich auf der Ausdehnung der Drähte in Folge der Erwärmung.[8])

131. Inzwischen hatte Peltier 1834 eine interessante Entdeckung gemacht. Bei der Untersuchung der Temperaturveränderungen an den Berührungsstellen verschiedenartiger Leiter bemerkte er, dass der galvanische

---

[1]) Phil. Mag., Bd. 19, S. 260, 1841. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 9, S. 21, 1843. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 59, S. 203 und 407, 1843 und Bd. 61, S. 18, 1844. — [4]) Müller, Fortschritte d. Phys., S. 384, 1849. — [5]) Verhandl. d. Naturf. Ges. zu Basel, Bd. 2, S. 311, 1859. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 40, S. 355, 1837. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 52, S. 324, 1841. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 75, S. 206, 1848.

Strom unter gewissen Umständen auch eine Temperaturerniedrigung zur Folge haben kann. Es ist dies der Fall, wenn die positive Elektricität durch die Löthstelle zweier Metalle von dem thermoelektrisch negativen zum thermoelektrisch positiven hinfliesst, z. B. vom Wismuth zum Antimon. In der entgegengesetzten Richtung zeigt sich eine Temperaturerhöhung.[1]) Die Gesetze dieser Erscheinung wurden namentlich 1847 von Ed. Becquerel,[2]) sowie in den Jahren 1853 und 1854 von Quintus Icilius[3]) und Frankenheim[4]) studirt. Darnach ist die Temperaturänderung an der Löthstelle direct proportional der Stromintensität und ausserdem durch die Stellung der Metalle in der thermoelektrischen Reihe bestimmt. Das Peltier'sche Phänomen ist in jeder Beziehung die Umkehrung der thermoelektrischen Stromerregung. Der Strom, welcher an der Löthstelle zweier Metalle eine Erwärmung bewirkt, ist demjenigen entgegengerichtet, welcher durch die Erwärmung dieser Stelle erzeugt wird. Auch für diese Erscheinungen, wie überhaupt für alle Wechselbeziehungen zwischen Wärme und Elektricität ist 1852 von Clausius eine Theorie entwickelt worden.[5]) Ausser von ihm wurde eine Erklärung derselben namentlich noch 1856 von William Thomson[6]) zu geben versucht.

132. Bezüglich des Funkens einer galvanischen Säule war schon 1801 von Gilbert[7]) und Pfaff[8]) bemerkt

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 56, S. 371, 1834. — [2]) Ann. d. Chim. et de Phys., Bd. 20, S. 60, 1847. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 89, S. 377, 1853. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 91, S. 161, 1854. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 87, S. 415, 1852 und Bd. 90, S. 513, 1853. — [6]) Phil. Trans., Bd. 3, S. 661, 1856; Phil. Mag., Bd. 11, S. 214, 1856. — [7]) Gilbert Ann., Bd. 7, S. 157, 1801. — [8]) Gilbert Ann., Bd. 7, S. 247 u. S. 514, 1801.

worden, dass derselbe vom überspringenden Funken der Spannungselektricität wesentlich verschieden ist und vielmehr in dem Glühen abgerissener Metalltheilchen seinen Grund hat. Simon bestätigte diese Beobachtung, indem er die Lichterscheinung in Sauerstoff bedeutend lebhafter fand.[1]) Curtet in Brüssel scheint der erste gewesen zu sein, welcher an Stelle der schwer glühenden Metalldrähte Kohlenstifte in die Leitung einschaltete; dieselben verbrannten unter starkem Funkensprühen und setzten Schiesspulver in Brand.[2]) Ein ähnlicher Versuch wurde im März 1802 von Robertson in Paris gemacht.[3]) Ritter, der sich gleichzeitig ebenfalls mit den Verbrennungserscheinungen beschäftigte, brachte nur an dem einen Pol Kohle an, während sich an dem anderen Silber befand; er kam aber dabei auf die interessante und für die Folge wichtige Entdeckung, dass die Wärmeentwicklung nur am positiven Pol auftritt.[4]) Erst 1812 wurden diese Untersuchungen von Davy in grossartigem Massstabe wieder aufgenommen; er erzeugte mit seiner mächtigen Batterie aus 2000 Elementen zwischen zwei Kohlenstäben ein blendendes Licht, welchem er dadurch eine längere Dauer und erhöhte Intensität gab, dass er es im luftverdünnten Raume entstehen liess.[5]) Er bemerkte, entsprechend der Wahrnehmung Ritter's, dass sich dabei die positive Elektrode kraterförmig aushöhlte, während die negative wenig verändert war, und zog daraus den Schluss, dass die Lichterscheinung nicht einer eigentlichen

[1]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 393, 1801. — [2]) J. B. van Mons Journ. de Chim. et de Phys., Bd. 2, S. 272. — [3]) Urbanitzky, Elektr., S. 597, 1884; Journ. de Paris, 2. vent., an 10 (12. März 1802). — [4]) Gilbert Ann., Bd. 9, S. 344, 1801. — [5]) Davy, Elements of chem. phil., S. 152, 1812; Phil. Trans., Bd. 2, S. 487, 1821; Becquerel, Hist. de l'électr., S. 52, 1858.

Verbrennung der Kohle, sondern vielmehr dem Uebergange glühender Theilchen vom positiven zum negativen Pol zuzuschreiben sei; 1817 zeigte Breda freilich, dass auch von der negativen Elektrode eine kleine Menge von Theilchen zur positiven transportirt wird.[1]) Indem Davy den Lichtbogen durch magnetische Einwirkung ablenkte, bewies er die Richtigkeit seiner Erklärung.[2])

Siebentes Capitel.

Massbestimmungen über die galvanischen Ströme.

133. Durch die Entdeckung der magnetischen Ablenkung war ein sehr zuverlässiges, von äusseren Einflüssen nahezu ganz unabhängiges Mittel gewonnen worden, um die Wirkungen verschiedener Ströme miteinander vergleichen zu können. Schon in der ersten Zeit nach dem Bekanntwerden von Oersted's wichtigen Untersuchungen hatte Professor Johann Salomon Schweigger in Halle, geboren 8. April 1779, gestorben 6. September 1857, im September 1820 ein Verfahren gefunden, die Ablenkung der Nadel durch den Strom erheblich zu verstärken, indem er den letzteren in mehreren Windungen um die Nadel herumführte.[3]) Beinahe gleichzeitig kam Poggendorff in Berlin auf die gleiche Einrichtung,[4]) wie ja auch Ampère unabhängig von ihnen dieselbe Methode zum Magnetisiren von Stahlnadeln in Anwendung

[1]) Pogg. Ann., Bd. 70, S. 326, 1847. — [2]) Gilbert Ann., Bd. 71, S. 244, 1822. — [3]) Schweigger Journ., Bd. 31, S. 1, 1821. — [4]) Schweigger Journ., Bd. 2, S. 38, 1811.

Poggendorff's Thermoelemente in Verwendung und mit diesen gelang es ihm, auf empirischem Wege in der That eine Formel zu ermitteln, durch welche die Stärke der magnetischen Wirkung des Stromes aus dem Widerstande des Leiters bestimmt werden konnte. Es traten dabei zwei Constante auf, welche von der elektromotorischen Kraft und dem Widerstande des stromerregenden Elementes abhängig waren. Ohm wandte diesen Ausdruck sofort auf die Theorie der aus mehreren Elementen bestehenden Säule und auf den Multiplicator an und bestätigte in Bezug auf den letzteren die Wahrnehmungen Seebeck's und Poggendorff's von dem Vorhandensein eines Maximums der Wirkung.

135. Ohm suchte die Resultate seiner Beobachtungen durch theoretische Betrachtungen weiter auszudehnen. Zu diesem Zwecke bezeichnete er den Unterschied zwischen den Elektricitätsmengen von zwei um die Längeneinheit von einander entfernten Punkten des Leitungsdrahtes als das Gefälle der Elektricität und nahm dasselbe für verschiedene Leiter als proportional den Widerständen an, welche sie bei gleicher Länge dem Durchgange des Stromes entgegensetzen. Wenn der constante Strom nun dadurch definirt wird, dass das Gefälle längs der ganzen geschlossenen Leitung überall den gleichen Werth besitzt, muss dasselbe der Differenz der elektrischen Spannungen an den beiden Seiten der Erregungsstelle proportional sein; diese Spannungsdifferenz ist aber als elektromotorische Kraft die Ursache der Strömung. Andererseits wird durch das Gefälle die Elektricitätsmenge, welche in einer bestimmten Zeit durch den Querschnitt des Leiters hindurchfliesst und damit die Intensität des Stromes bestimmt. Die letztere ist daher der Spannungs-

differenz oder der elektromotorischen Kraft direct, dem Gesammtwiderstande der Leitung aber verkehrt proportional. Es ist dies das berühmte, nach Ohm genannte Gesetz.[1]) Die Richtigkeit desselben und seiner Voraussetzungen wie Folgerungen wurde zunächst in den Jahren 1828 bis 1830 von Gustav Theodor Fechner in Leipzig durch Schwingungsbeobachtungen auch für inconstante Ketten nachgewiesen.[2]) Pouillet that das gleiche 1837[3]) und ebenso bestätigte eine Commission der British Association das Ohm'sche Gesetz im Jahre 1876;[4]) Beetz[5]) und F. Kohlrausch[6]) endlich zeigten, dass dasselbe auch für Flüssigkeiten Geltung besitzt. Es wurde schon früher erwähnt, dass die Proportionalität zwischen der elektromotorischen Kraft der geschlossenen Säule und dem Spannungsunterschiede an den Polen der offenen Kette 1848 durch R. Kohlrausch nachgewiesen wurde.[7])

136. Die Theorie des galvanischen Stromes wurde namentlich durch Gustav Kirchhoff, geboren 12. März 1824, weiter fortgeführt. Derselbe untersuchte 1845 die Stromverhältnisse bei Verzweigung der Leitung und stellte dafür zwei allgemeine Sätze auf, von denen der eine unmittelbar klar ist, der zweite durch Messung bestätigt wurde. Nach dem ersten, der sogenannten Continuitätsgleichung, ist die algebraische Summe der Intensitäten sämmtlicher Ströme, welche in einem Punkte zusammentreffen, gleich Null; nach der sogenannten Leitungsgleichung ist die alge-

---

[1]) Ohm, Die galvan. Kette, 1827. — [2]) Fechner, Massbestimmungen über die galvan. Kette, 1831. — [3]) Compt. rend., Bd. 1, S. 267, 1837. — [4]) Wiedemann, Elektr., Bd. 1, S. 338, 1882. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 125, S. 126, 1865. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 138, S. 280 u. S. 370, 1869. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 75, S. 220, 1848.

braische Summe der elektromotorischen Kräfte gleich derjenigen der Producte aus Stromstärke und Widerstand.[1]) Für besondere Fälle war dieses Problem übrigens schon von Ohm,[2]) Pouillet,[3]) Poggendorff[4]) und Wilhelm Weber[5]) gelöst worden und Wheatstone hatte sogar eine Methode der Widerstandsbestimmung darauf gegründet.[6]) Kirchhoff aber behandelte die Aufgabe zuerst in ihrer Allgemeinheit und fasste die sogenannte Spannung richtig als Potential und nicht im Sinne Ohm's als Dichtigkeit auf. Damit fand die Potentialtheorie auch auf die galvanischen Ströme Anwendung und auf dieser Grundlage ist dann namentlich von Kirchhoff selbst,[7]) sowie von Clausius[8]) und Helmholtz[9]) die weitere Untersuchung und Erklärung der einschlägigen Erscheinungen gegeben worden. Für die Messung des Widerstandes sind die Kirchhoff'schen Formeln von grosser Bedeutung geworden.

137. Inzwischen waren mannigfache Versuche gemacht worden, um den Multiplicator durch Ermittlung der Beziehungen zwischen dem Ablenkungswinkel und der Stromstärke zur eigentlichen Messung der letzteren geeignet zu machen und dadurch zu einem Galvanometer umzugestalten. A. C. Becquerel scheint 1826 der erste gewesen zu sein, welcher zu diesem Zwecke eine Graduirung des Instrumentes vornahm, indem er auf

[1]) Pogg. Ann., Bd. 64, S. 512, 1845. — [2]) Schweigger Journ., Bd. 46, S. 137, 1826; Bd. 49, S. 1, 1827. — [3]) Compt. rend., Bd. 4, S. 267, 1837. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 172, 1841; Bd. 55, S. 158 u. S. 511, 1852. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 67, S. 273, 1846. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 62, S. 535, 1844. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 67, S. 344, 1846; Bd. 72, S. 497, 1847; Bd. 75, S. 189, 1848. — [8]) Pogg. Ann., Bd. 86, S. 161, 1852; Bd. 87, S. 415, 1852. — [9]) Pogg. Ann., Bd. 89, S. 211 u. S. 353, 1853.

empirischem Wege eine Tafel bildete, welche zu jeder Ablenkung die zugehörige Stromstärke angeben sollte.[1]) Er bediente sich zu diesem Zwecke des von ihm construirten Differential-Galvanometers, bei welchem zwei nebeneinanderliegende, im Uebrigen vollkommen gleiche Drahtgewinde auf die Magnetnadel wirken, so dass durch jedes derselben einzeln oder gleichzeitig galvanische Ströme in beliebiger Richtung geschickt werden können. Durch Vergleichung der Ablenkungen in diesen verschiedenen Fällen war es ihm möglich, eine ziemlich genaue Tabelle herzustellen, welche dem genannten Zwecke entsprach. Von Melloni wurden hierzu 1833 Thermosäulen in Anwendung gebracht.[2]) Später sind praktischere Methoden zur Graduirung namentlich von Poggendorff[3]) und Bosscha[4]) angegeben worden.

138. Der erste Versuch, das Galvanometer zu directen Messungen ohne Benützung einer Tafel einzurichten, wurde 1833 von Nervander in Helsingfors gemacht.[5]) Der Multiplicator hatte bei diesem die Gestalt eines Kreiscylinders und stand mit seiner Axe senkrecht gegen den magnetischen Meridian. Die Stromintensität war dann bis zu Winkeln von 30^0 ziemlich genau der Tangente des Ablenkungswinkels proportional. Wegen des bequemen Gebrauches fand dieses Instrument ziemlich häufig Anwendung. Es wurde indessen bald durch die 1837 von Claude Servais Matthieu Pouillet, geboren 16. Februar 1791, gestorben 14. Juni 1868, construirte

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 31, S. 374, 1826; Bd. 32, S. 422, 1826. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 53, S. 5, 1833. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 56, S. 324, 1842. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 93, S. 402, 1854. — [5]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 55, S 160, 1833.

Tangentenboussole verdrängt, welche sich durch grössere Einfachheit und eine zweckmässige Einrichtung auszeichnete.[1]) Bei dieser war das Drahtgewinde des Multiplicators durch einen einfachen verticalen Kupferring ersetzt, dessen Enden mit der Stromleitung in Verbindung standen und in dessen Mittelpunkt sich eine kleine Magnetnadel befand. Es ergibt sich durch eine einfache Ueberlegung, dass dann die Stromintensität innerhalb gewisser Grenzen der Tangente des Ablenkungswinkels proportional sein muss. Pouillet erhöhte die Genauigkeit der Messung, indem er den Kupferring beweglich machte und ihn der Nadel so lange nachrückte, bis sie wieder in seiner Ebene stand; dann entspricht der Sinus des Drehungswinkels der Stromintensität und das Instrument führt den Namen Sinusboussole. Durch Poggendorff erfuhr dieser Apparat, dessen Princip schon 1824 von de la Rive gegeben worden war,[2]) im Jahre 1840 namhafte Verbesserungen.[3]) Durch theoretische Erwägungen geleitet, setzte Helmholtz 1849 die Nadel in der Tangentenboussole zwischen zwei parallele verticale Drahtringe, welche um die Länge ihres Radius von einander abstehen.[4]) Bei dieser Einrichtung, auf welche 1853 selbständig auch Gaugain kam,[5]) wird das Tangentengesetz auch innerhalb weiterer Grenzen genauer erfüllt. In sehr zweckmässiger Weise wurde darauf nach diesem Principe 1862 von Siemens und Halske eine sogenannte Sinus-Tangenten-Boussole construirt,[6]) während das 1874 von Werner Siemens

---

[1]) Compt. rend., Bd. 4, S. 267, 1837. — [2]) Mém. de la soc. de Phys. de Genève, Bd. 3, Th. 1, S. 117, 1824. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 50, S. 404, 1850; Bd. 57, S. 86, 1842. — [4]) Wiedemann, Elektr., Bd. 3, S. 250, 1883. — [5]) Compt. rend., Bd. 36, S. 191, 1853. — [6]) Wiedemann, Elektr., Bd. 3, S. 253, 1883.

ersonnene Universal-Galvanometer zu den Sinusboussolen gerechnet werden muss.[1]) Siemens hat vor längerer Zeit für den praktischen Gebrauch auch ziemlich bequeme Verticalgalvanometer zusammengestellt, welche wie die beiden zuletzt genannten Apparate namentlich im Telegraphendienst grosse Verwendung gefunden haben[2]).

139. Einen bedeutenden Fortschritt erfuhr die galvanische Messkunst durch die Anwendung der sogenannten Spiegelablesung, deren Erfindung durch Poggendorff bis auf das Jahr 1826 zurückgeht,[3]) jedoch erst 1837 von Wilhelm Eduard Weber in Leipzig, geboren 24. October 1804, für die Elektricitätslehre nutzbar gemacht wurde.[4]) Diese wesentliche Verbesserung besteht in einem einfachen kleinen Spiegel, welcher an der Aufhängevorrichtung angebracht ist, so dass durch denselben das Bild einer über einem Fernrohr befindlichen Scala in dieses reflectirt wird. Der Ausschlag des Magnets in Folge der Einwirkung des Stromes bewirkt eine Verschiebung der Theilstriche im Spiegel, aus welcher der Ablenkungswinkel mit grosser Genauigkeit ermittelt werden kann.

Indem Weber ferner den Magnet durch eine bifilar aufgehängte cylindrische Drahtrolle ersetzte, so dass an Stelle der elektromagnetischen nunmehr elektrodynamische Kräfte in Thätigkeit treten, gestaltete er sein „Magnetometer" zu einem „Elektrodynamometer" um, welches wesentlich für elektrodynamische Massbestim-

---

[1]) Dingler Journ., Bd. 211, S. 263, 1874. — [2]) Dub, Anw. des Elektromagnet., S. 363, 1863. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 7, S. 127, 1826. — [4]) Resultate aus d. Beob. d. magn. Ver., 1837.

mungen geeignet ist und dessen Construction im Jahre 1841 von ihm vollendet wurde.[1]) Die bewegliche, sogenannte „Bifilarrolle" hängt dabei innerhalb der Multiplicatorrolle und die Ebenen ihrer Windungen stehen aufeinander senkrecht; zur Zuleitung des Stromes dient direct der Aufhängedraht. Für Strommessungen wurde das Magnetometer in zweckmässiger Einrichtung von Wilhelm Weber zuerst 1852 unter dem Namen Galvanometer in Verwendung genommen.[2]) In dem darauffolgenden Jahre wurde von Franz Wiedemann in Leipzig die spiegelnde Fläche unmittelbar an dem Magnetstab angebracht; um den Apparat für verschiedene Stromstärken brauchbar zu machen, hing er den Magnet in die Mitte zwischen zwei verschiebbare Stromspiralen und fügte endlich eine geeignete Vorrichtung zur raschen Dämpfung seiner Schwingungen hinzu.[3]) Fast gleichzeitig wurde von Lamont ein ähnliches Spiegel-Galvanometer hergestellt.[4]) Seither haben diese Instrumente mannigfache Abänderungen und Verbesserungen erfahren, die sich namentlich auf die Dämpfung der Schwingungen und die Astasirung des Magnets beziehen, so von Meissner und Meyerstein 1861,[5]) von Victor v. Lang 1873,[6]) von Emil du Bois-Reymond 1874,[7]) Deprez und d'Arsonval 1882[8]) u. s. w. Die genauesten und empfindlichsten Apparate dieser Art rühren von Werner Siemens her.[9])

---

[1]) Abhandlungen bei Begründung der Sächs. Gesellschaft d. Wiss., S. 218, 1846. — [2]) Abhandl. d. Sächs. Gesellsch. d. Wiss., Bd. 1, S. 337, 1852. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 89, S. 504, 1853. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 88, S. 230, 1853. — [5]) Pogg. Ann., Bd. 114, S. 132, 1861. — [6]) Carl Repert., Bd. 9, S. 149, 1873. — [7]) Monatsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 762, 1874. — [8]) Compt. rend., Bd. 94, S. 1347, 1882. — [9]) Wiedemann, Elektr., Bd. 3 S. 300, 1883.

Für starke Ströme wurden in den letzten Jahren Galvanometer von Marcel Deprez[1]) und von Ayrton und Perry[2]) construirt.

140. Um die Messung der galvanischen Ströme hat sich in erster Linie Wilhelm Weber ausserordentliche Verdienste erworben. Von ihm rührt die exacte Definition der verschiedenen Masssysteme und die Aufstellung der Beziehungen zwischen denselben her. So wurde von ihm 1840 für die Bestimmung der Stromstärke das absolute magnetische Mass eingeführt.[3]) Darnach ist die Intensität eines kreisförmigen Stromes dann gleich der Einheit, wenn er die Flächeneinheit umfliesst und eine bestimmte magnetische Kraft ausübt, welche gleich der Einheit ist. Indem Weber in diesem Masse das elektrochemische Aequivalent des Wassers bestimmte, gab er zuerst eine Beziehung zwischen den chemischen und den magnetischen Wirkungen des Stromes.[4]) Um ferner die Messung der galvanischen Ströme nur von ihren gegenseitigen Kräften abhängig zu machen, begründete er 1852 das absolute elektrodynamische Masssystem.[5]) Nach diesem ist die Stromintensität für zwei gleiche Ströme, welche in sehr grosser gegenseitiger Entfernung r die Flächeneinheit umkreisen und deren Ebenen so aufeinander senkrecht stehen, dass durch die eine die Fläche des zweiten Stromes halbirt wird, dann gleich der Einheit, wenn dieser letztere auf den ersten ein Drehungs-

---

[1]) Carl Zeitschr. f. angew. Elektr., Bd. 2, S. 219, 1880. — [2]) Carl Zeitschr. f. angew. Elektr., Bd. 3, S. 373, 1881. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 55, S. 27, 1842. — [4]) Resultate aus d. Beob. d. magn. Ver., S. 91, 1840. — [5]) Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 1, S. 259, 1852.

moment ausübt, welches gleich $\frac{1}{2r^3}$ ist. In einfacherer Weise lässt sich diese Definition für zwei von gleichen Strömen in gleicher Richtung durchflossene parallele Stromelemente aussprechen, deren Länge und gegenseitiger Abstand gleich der Längeneinheit ist; wenn sie auf ihrer Verbindungslinie senkrecht stehen, ist nämlich ihre Stromintensität gleich der Einheit, sobald ihre gegenseitige Anziehungskraft gleich der Krafteinheit ist. Endlich stellte Weber den elektrostatischen Messungen entsprechend noch ein rein mechanisches Masssystem auf. Darnach ist die Intensität eines Stromes gleich der Einheit, wenn durch einen Querschnitt in der Zeiteinheit die Einheit der Elektricität hindurchfliesst; die letztere aber wird dadurch bestimmt, dass sie auf eine andere ebensogrosse Elektricitätsmenge in einem Abstande, der gleich der Längeneinheit ist, die Einheit der Kraft ausübt. In entsprechender Weise lässt sich auch die Einheit der elektromotorischen Kraft definiren und aus dem Ohmschen Gesetz folgt daraus von selbst das absolute Mass für die Widerstandseinheit.[1])

Durch eine Commission der British Association for the advancement of science wurden diese Masse zunächst 1861 in England eingeführt;[2]) erst durch den Elektriker-Congress zu Paris im Jahre 1881 erhielten dieselben allgemeinere Verbreitung. Die Einheiten der Stromstärke, der elektromotorischen Kraft, des Widerstandes, der Elektricitätsmenge und der Capacität wurden dabei nach den Namen der berühmten Forscher als Ampère, Volt,

---

[1]) Abh. d. Sächs. Ges. d. Wiss., Bd. 3, S. 1, 1856. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 126, S. 369, 1865.

Ohm, Coulomb und Farad bezeichnet. Der Vollständigkeit halber mag endlich noch erwähnt werden, dass einige Zeit hindurch eine von Jacobi in Petersburg 1846 vorgeschlagene, rein willkürliche Widerstandseinheit in Gestalt eines Kupferdrahtes, von welchem mehrere Copien verbreitet waren, in Anwendung stand.[1]) Ein praktischeres Mass wurde 1860 von Werner Siemens gegeben, indem er den Widerstand einer Quecksilbersäule von 1 Meter Länge und 1 Quadratcentimeter Querschnitt als Einheit wählte, welche in der Praxis auch jetzt noch eine gewisse Rolle spielt.[2]) Rheostaten oder Apparate zur Messung der Widerstände wurden 1840 gleichzeitig von Poggendorff,[3]) Jacobi[4]) und Wheatstone[5]) construirt. Siemens erfand 1860 die allgemein gebräuchlichen Stöpselrheostaten.[6])

Achtes Capitel.

Die Erscheinungen der Inductions-Elektricität.

141. Wie die Erscheinungen der Influenz-Elektricität und namentlich jene des sogenannten Rückschlages schon im vorigen Jahrhundert gezeigt hatten, hat jede Veränderung in dem elektrischen Zustande eines Körpers eine ebensolche in jedem benachbarten Leiter zur Folge. Da das Wesen der galvanischen Ströme aber gerade in

---

[1]) Abhandl. der Sächs. Gesellsch. der Wiss., Bd. 1, S. 199, 1852. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 110, S. 1, 1860. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 52, S. 511, 1841. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 340, 1841. — [5]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 309, 1843. — [6]) Pogg. Ann., Bd. 110, S. 1, 1860.

einer unausgesetzten Bewegung der Elektricität besteht, lag es eigentlich nahe, auch bei ihnen derartige influenzirende Wirkungen zu vermuthen. Aber erst die glänzenden Entdeckungen über die magnetischen und elektrodynamischen Kräfte der Ströme und die sich daran anschliessenden Untersuchungen über die durch sie hervorgebrachten Bewegungen der Leiter führten wirklich zur Beobachtung dieser Erscheinungen. Die erste diesbezügliche Wahrnehmung dürfte wohl Ampère gelegentlich seiner Versuche über die magnetische Wirkung von Strömen gemacht haben. Er theilte die Nachricht hiervon am 4. September 1822 der Pariser Akademie der Wissenschaften mit.[1]) Als er nämlich einem ringförmigen Kupferstreifen, welcher innerhalb einer geschlossenen Stromleitung hing, einen Hufeisenmagnet näherte, wurde derselbe von letzterem je nach der Richtung des Stromes bald zwischen die Schenkel hineingezogen, bald von ihnen zurückgestossen. Diese Erscheinung war immer nur vorübergehend. Ampère bemerkte darüber: „In einem beweglichen Leiter, welcher einen völlig geschlossenen Umkreis bildet, entsteht durch die Influenz eines elektrischen Stromes, den man in einem festen, kreisförmigen Leiter erzeugt, selbst ein Strom, sobald nur dieser zweite Leiter dem ersten bebeweglichen sehr nahe ist, ohne mit ihm direct in Verbindung zu stehen." Es muss sehr Wunder nehmen, dass nicht nur Ampère selbst nach Erledigung seiner elektrodynamischen Untersuchungen auf diese wichtige Entdeckung nicht mehr zurückgekommen ist, sondern dass sie überhaupt ganz unbeachtet vorüberging. Erst

[1]) Ampère, Recueil d'observ. électrodyn., S. 285 u. S. 323, 1822.

1824 wurde Arago durch Versuche über die Einwirkung rotirender Metallscheiben auf Magnetnadeln, mit denen er sich seit 1822 beschäftigt hatte, wieder auf eine diesbezügliche Erscheinung geführt.

142. Arago bemerkte im November 1824, dass eine Magnetnadel in der Nähe einer rotirenden horizontalen Metallscheibe aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird und selbst in Rotation versetzt werden kann; steht dagegen die Scheibe in Ruhe, so werden die Schwingungen der darüber befindlichen Nadel gedämpft.[1]) Arago glaubte anfangs, dass diese Erscheinung von einem in der Scheibe inducirten Magnetismus herrühre, eine Erklärung, welche zuerst von Duhamel gegeben worden war. Als er aber 1826 den Versuch mit vertical über der horizontalen Scheibe an einem Wagbalken hängenden Magneten wiederholte, fand er, dass dieselben durchaus nicht, wie man nach dieser Theorie hätte erwarten sollen, angezogen, sondern von der Scheibe vielmehr abgestossen wurden.[2]) Arago bestimmte die Richtung der Kraft für verschiedene Stellungen der Nadel; eine Erklärung des von ihm sogenannten „Rotationsmagnetismus" vermochte er aber nicht zu geben. Von den zahlreichen Versuchen, welche in dieser Richtung unternommen wurden, sind namentlich jene von Herschel und Babbage aus dem Jahre 1825 zu erwähnen.[3]) Denselben gelang es, durch Drehung eines Magnets eine freihängende Metallscheibe in Bewegung zu setzen. Sie entdeckten auch, dass durch radiale Einschnitte in der

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 27, S. 363, 1824; Bd. 28, S. 325, 1825. — [2]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 32, S. 213, 1826. — [3]) Phil. Trans., S. 481, 1825.

Scheibe die Wirkung wesentlich verringert wird, und kamen dadurch der Ursache der Erscheinung ziemlich nahe. Doch erst von Faraday wurde dieselbe 1831 durch die Entdeckung der Inductionselektricität nach jeder Richtung hin aufgeklärt.

143. Die Magnetisirung weicher Eisenstücke durch galvanische Ströme und die elektrodynamischen Kräfte der letzteren hatten Faraday schon 1825 auf den Gedanken gebracht, dass möglicherweise auch elektromotorische Kräfte zwischen zwei Leitern wirksam sein könnten in der Art, dass der Durchgang eines Stromes durch einen derselben auch eine elektrische Erregung im anderen zur Folge habe. Er hatte sich vielfach bemüht derartige Beziehungen aufzufinden und erneuerte im Jahre 1831 in systematischer Weise seine Versuche. Von zwei isolirt nebeneinander auf eine hölzerne Rolle gewundenen Drähten setzte er den einen mit einer Batterie von 10 und später 120 Elementen, den anderen mit einem empfindlichen Galvanometer in Verbindung. Doch auch diesmal schien sich anfangs kein Erfolg zu zeigen. Da bemerkte Faraday, dass die Nadel, welche während des Durchganges des Stromes durch den Draht der Batterie völlig unbeweglich blieb, eine momentane, schwache Bewegung machte, so oft er die Leitung herstellte oder unterbrach; die Ausschläge der Nadel waren in beiden Fällen entgegengesetzt. Er schloss daraus richtig, dass eine Veränderung der Stromintensität zu denselben Resultaten führen müsse. In der That geschah dies auch. Von dem Principe der Gegenseitigkeit der Wirkungen geleitet, versuchte er nun auf die gleiche Weise durch plötzliche Erregung des Magnetismus Ströme zu erzeugen und ersetzte zu diesem Zwecke die Holz-

rolle durch einen eisernen Ring, dessen entgegengesetzte Hälften mit je einem der Drähte umwunden waren; und wirklich zeigte die Nadel in dem Augenblick, in welchem der Ring durch den Durchgang des Stromes magnetisirt oder durch sein Verschwinden entmagnetisirt wurde, eine starke Ablenkung, die sogar meistens in eine Drehung überging. Dieselben Erscheinungen traten auch bei geraden Eisenstäben ein. Faraday ging darauf zur Anwendung permanenter Magnete über, indem er durch Bewegung derselben ihre Einwirkung auf den Galvanometerdraht änderte. Er schob an Stelle des Eisenstabes einen Stahlmagnet in der Spirale hin und her und erhielt dadurch merkliche Ausschläge am Galvanometer. Dasselbe war endlich, der Ampère'schen Theorie entsprechend, der Fall, wenn der Magnet durch eine vom Strom durchflossene Spirale ersetzt war. Indem Faraday auch durch den Einfluss des Erdmagnetismus in einer Drahtrolle, welche im magnetischen Meridian hin- und hergedreht wurde, Ströme inducirte, waren damit in rascher Folge die Grunderscheinungen der Inductionselektricität nach den verschiedensten Richtungen hin ermittelt und es erübrigte nur noch, die gewonnenen Resultate im Einzelnen weiter auszuführen und die Gesetze derselben festzustellen.[1])

144. Faraday wandte sich nach der Entdeckung der in Drähten inducirten Ströme zunächst der Untersuchung des Arago'schen „Rotationsmagnetismus" zu. Indem er eine verticale Kupferscheibe zwischen den Polen eines Hufeisenmagnets rotiren liess und den Rand derselben durch eine schleifende Feder, sowie die Axe durch einen

[1]) Faraday, Exper. research., Serie 1, Phil. Trans., S. 127, 1832.

wirkung, welche durch den gegenseitigen Einfluss der Spiralwindungen beim Oeffnen des Stromes hervorgerufen wird.[1]) Faraday zeigte, dass auch bei Schliessung der Leitung ein ähnlicher Strom auftritt, welcher aber dem inducirenden entgegengerichtet ist und ihn daher schwächt. Es kann aus diesem Grunde der Strom nur allmählich sich bis zu seiner vollen Stärke entwickeln; die Gesetze für dieses Anwachsen und ebenso für das Verschwinden des Stromes sind 1851 von Helmholtz[2]) und später von E. du Bois-Reymond[3]) ermittelt worden. In Bezug auf die Intensität dieser von Faraday sogenannten Extraströme wurde 1849 von Erik Edlund in Stockholm, geboren 14. März 1819, festgestellt, dass die elektromotorischen Kräfte des Oeffnungs- und des Schliessungsstromes einander gleich und der Stärke des primären Stromes proportional sind.[4]) Schon früher waren von Henry 1840 auch die Inductionsströme höherer Ordnungen entdeckt worden, welche dadurch entstehen, dass ein inducirter Strom selbst wieder inducirend wirkt.[5]) Die Verhältnisse derselben sind ausser von Henry selbst namentlich von Abria[6]) studirt worden.

147. Eine mathematische Theorie der Inductionserscheinungen wurde zuerst 1845 von Franz Ernst Neumann in Königsberg gegeben.[7]) Durch dieselbe

---

[1]) Faraday, Exper. research., Serie 9, §. 1079, Phil. Trans., 1835. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 83, S. 505, 1851. — [3]) Wiedemann, Elektr., Bd. 4, S. 117, 1885. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 77, S. 161, 1349. — [5]) Pogg. Ann., Ergänzungsbd. 1, S. 282, 1840; Bd. 54, S. 84, 1841. — [6]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 8, S. 59, 1841; Bd. 7, S. 486, 1843. — [7]) Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 1, 1845; S. 1, 1847.

werden die Vorgänge im Stromkreis auf die Wechselwirkungen der Elemente zurückgeführt. Neumann legte seinen Betrachtungen die durch Lenz empirisch ermittelten Gesetze zu Grunde und ging von einer Voraussetzung aus, nach welcher die durch die Bewegung eines Stromelements in einem beliebigen Elemente eines Leiters inducirte elektromotorische Kraft proportional ist der Geschwindigkeit, mit welcher das Stromelement bewegt wird, sowie der Componente des Antriebes, welchen dasselbe auf das Leiterelement ausübt, genommen nach der Richtung seiner Bewegung, und endlich der sogenannten Inductionsconstanten, deren Werth sehr rasch mit der Zeit abnimmt. Indem Neumann dann zeigte, dass das Ohm'sche Gesetz seine Giltigkeit behält, so lange die Aenderung der Intensität des inducirenden Stromes im Verhältniss zur Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität nur langsam vor sich geht, bestimmte er mit Hilfe desselben die Stärke des im ganzen Leiter inducirten Stromes und fand diese nur von der Lage und Länge des vom inducirenden Leiter durchlaufenen Weges, dagegen nicht von der Geschwindigkeit desselben abhängig. Durch Einführung der Potentialfunction in diese Betrachtungen gelangte Neumann schliesslich zu dem Theorem, dass die durch beliebige Orts- oder Intensitätsänderungen eines Stromkreises in einem Leitungsdraht inducirte elektromotorische Kraft blos durch die Differenz der Potentiale beider Leiter aufeinander in ihrem Anfangs- und ihrem Endzustand bedingt ist.

148. Eine andere Theorie der Inductionserscheinungen stellte ebenfalls im Jahre 1845 Gustav Theodor Fechner in Leipzig, geboren 19. April 1801, auf, indem er dieselben mit dem Ampère'schen Gesetz zu

verknüpfen suchte. Er ging dabei von der Anschauung aus, nach welcher der elektrische Strom eigentlich aus zwei gleichen einander entgegengerichteten Strömen positiver und negativer Elektricität besteht, und machte die Annahme, dass gleichartige elektrische Theilchen bei gegenseitiger Annäherung auf einander anziehend, ungleichartige auf einander abstossend wirken. In der That gelang es ihm, hieraus für zwei parallele Leiter sowohl die elektrodynamischen, wie die Inductions-Erscheinungen abzuleiten. Diese Resultate wurden 1846 von Wilhelm Weber benützt, um auf derselben Grundlage eine allgemeine Theorie aller elektrischen Vorgänge zu errichten.[2]) Er setzte ebenso wie Fechner ein Stromelement als aus einem positiven und einem negativen Theilchen bestehend voraus und führte die Ampère'sche Formel für die Wechselwirkung der Stromelemente auf eine solche für die gegenseitigen Kräfte zwischen den einzelnen elektrischen Theilchen zurück. Dieselbe unterscheidet sich von dem Coulomb'schen Gesetz für die elektrostatischen Kräfte dadurch, dass noch ein dem Quadrat der relativen Geschwindigkeit und ein direct der relativen Beschleunigung proportionales Glied hinzutreten, welche von der gegenseitigen Bewegung der beiden elektrischen Theilchen herrühren. Weber zeigte, dass aus diesem Gesetz die in der Ableitung nicht vorausgesetzten Inductionserscheinungen sich ebenfalls ohneweiters herleiten lassen. Kirchhoff benützte dasselbe 1857, um die allgemeine Gleichung für die Bewegung der Elektricität in Leitern aufzustellen.[3]) Von Her-

[1]) Pogg. Ann., Bd. 64, S. 337, 1845. — [2]) Abhandl. bei Begründung d. Sächs. Ges. d. Wiss, S. 305, 1846. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 100, S. 193, 1857; Bd. 102, S. 529, 1857.

mann Helmholtz, geboren 13. August 1821, wurde aber im Jahre 1870 die Bemerkung gemacht, dass man daraus für gewisse Fälle ein labiles Gleichgewicht der Elektricität in Leitern erhalte, was mit der Erfahrung in Widerspruch steht; er schrieb dem Weber'schen Gesetze die Schuld zu.[1]) Dadurch wurde eine lange wissenschaftliche Discussion zwischen ihm und Wilhelm Weber hervorgerufen, an welcher sich ausser ihnen namentlich Carl Neumann in Leipzig betheiligte und die bis jetzt noch zu keinem eigentlichen Abschluss gelangt ist. Im Verlaufe derselben wurde von Helmholtz die Potentialtheorie Franz Neumann's auf ihre allgemeinste Form erweitert, während Clausius in Bonn Weber's Gesetz durch ein analoges, mit Hilfe mathematischer Betrachtungen hergeleitetes zu ersetzen versuchte. Gegenüber diesen Theorien und der ihnen in gewissem Sinne verwandten von Edlund, welche ebenfalls auf der Annahme von Fernwirkungen der Elektricität beruht,[2]) wurde 1864 von James Clerk Maxwell in London, 1831 bis 1880, der Versuch gemacht, die elektrischen Vorgänge auf Bewegungen des den Raum erfüllenden Lichtäthers zurückzuführen,[3]) indem er von einer eigenthümlichen Anschauung ausging, welche Faraday über die Ausbreitung der elektrischen Wirkungen im Raume längs gewisser Linien, der sogenannten Kraftlinien, sich gebildet hatte;[4]) ähnliche Ansichten

---

[1]) Borchardt Journ. f. Math., Bd. 72, S. 57, 1870. — [2]) Pogg. Ann., Ergänzungsband 6, S. 95 und 241, 1873. — [3]) Phil. Trans., S. 459, 1864; Maxwell, Treatise on Electr. and Magn., 1873, deutsch von Weinstein, 1883. — [4]) Faraday, Exper. research., § 60, Phil. Trans., 1831.

wurden auch von Hankel entwickelt.[1]) Die Frage über die Richtigkeit all dieser und verschiedener anderer Theorien ist bis jetzt noch immer nicht entschieden, da sie für die bisher beobachteten Fälle den Thatsachen alle in gleichem Masse entsprechen.

Neuntes Capitel.

Entwicklung der auf die Inductionserscheinungen gegründeten Maschinen.

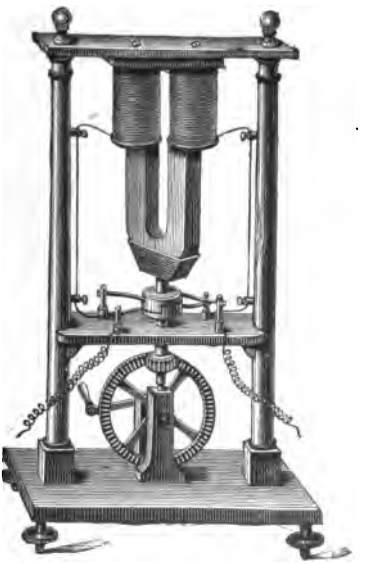
149. Mit der Entdeckung der Inductionserscheinungen wurde die Erfüllung jener Hoffnungen und Wünsche ermöglicht, welchen schon Franklin beredten Ausdruck verliehen hatte, die Elektricität trat in das praktische Leben über und es begann eine Elektrotechnik sich auszubilden. Zunächst war durch die magnetische Induction eine neue Quelle zur Erzeugung elektrischer Ströme gegeben, welche sich vor den bisherigen durch Mächtigkeit der Wirkungen und durch die Anwendung mechanischer Arbeitskraft vortheilhaft auszeichnete. Als die erste Maschine, welche nach diesem Princip die Umwandlung mechanischer Bewegung in elektrische Ströme vollzog, kann eigentlich schon Faraday's rotirende Kupferscheibe betrachtet werden, welche er zur Erklärung des Rotationsmagnetismus benützte. Die Verwendung einer Scheibe zur Erzeugung der Ströme ist aber für praktische Zwecke wenig geeignet. Diese Einsicht veranlasste schon im August 1832 den Verfasser eines mit P. M. unterzeich-

---

[1]) Wiedemann, Lehre v. d. Galvanismus, 2. Aufl., Bd. 2, Abth. 2, S. 620, 1874.

neten Briefes an Faraday, an ihrer Statt spiralförmig gewundene Drähte in Vorschlag zu bringen. Diese sollten um feste Eisenkerne gewickelt sein und an ihnen nicht weniger als sechs auf einer Scheibe befestigte Hufeisenmagnete vorbeirotiren.[1]) Dazu wäre indessen ein ziemlich grosser Kraftaufwand erforderlich gewesen und so gelangte dieses Project überhaupt nicht zur Ausführung. In bescheidenerer Weise wurden die ersten Maschinen in demselben Jahre von dal Negro[2]) und kurze Zeit darauf, am 3. September 1832, von diesem unabhängig in ziemlich gleicher Gestalt von Pixii construirt[3]) (Fig. 25). Im Wesentlichen bestanden dieselben aus einem hufeisenförmigen, vertical gestellten Stahlmagnete und einem mit Drahtspiralen umgebenen gleichgestalteten Anker aus weichem Eisen, unter welchem jener in Drehung gesetzt wurde. Die Wirkungen waren ziemlich befriedigend, doch liessen sie keine Steigerung zu, da wegen des unverhältnissmässigen Kraftaufwandes keine grösseren Magnete ver-

Fig. 25.



Maschine von Pixii.

[1]) Phil. Mag., Bd. 1, 1832. — [2]) Phil. Mag., Bd. 1, S. 45, 1832. — [3]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 50, S. 322, 1832.

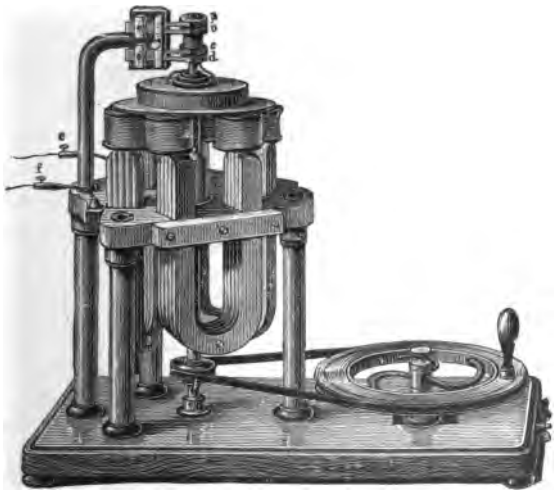
wendet werden konnten. Dies war wohl der Grund, weshalb Ritchie im folgenden Jahre den Magnet fest anbrachte und an seiner statt den Eisenkern rotiren liess.[1]) Dadurch sollte zugleich, wie Ritchie bemerkte, die Anwendung von kräftigeren Elektromagneten ermöglicht werden.

150. Ein gewisser Fortschritt wurde 1833 von Saxton erzielt.[2]) Diese früher viel gebrauchte Maschine war in der Einrichtung jener von Ritchie ähnlich, nur dass die Axe des Apparates eine horizontale Lage hatte. Es kam aber bei ihr zuerst ein Commutator in Anwendung, welcher aus zwei von einander isolirten Metallansätzen in der Axe bestand, an denen zwei rotirende Federn schleiften. Es war dies somit die erste Maschine, welche gleichgerichtete Ströme lieferte. Durch eine geeignete Vorrichtung wurde ferner die rasche Unterbrechung der Inductionsströme und die Verwendung der Extraströme bewerkstelligt, um dadurch starke physiologische Wirkungen zu erhalten. Das Bestreben, die Maschine kräftiger zu machen, rief nun mannigfache Abänderungen derselben hervor. So versetzte Clarke 1836 die Eisenkerne um eine zur Ebene des Magnets senkrechte Axe seitlich vor demselben in Drehung.[3]) Ettingshausen suchte 1838 die Wirkung des Stahlmagnets an dieser Maschine durch Ansetzen eines Ankers an denselben zu verstärken.[4]) Verschiedene Einrichtungen wurden dem Apparat von Page gegeben. So brachte er 1839 die Spiralen auf dem Stahlmagnet an und liess vor demselben einen einfachen Anker aus weichem Eisen rotiren. Bei einer

[1]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 320, 1833. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 39, S. 401, 1836. — [3]) Phil. Mag., Bd. 8; S. 262, 1836. — [4]) Gehler, Wörterb., Bd. 9, S. 122, 1838.

anderen Maschine drehte sich ein Eisencylinder innerhalb einer Spirale um die Axe des Magnets;[1]) bei einer dritten aus dem Jahre 1846 befanden sich endlich zwei Hufeisenmagnete einander gegenüber und in der durch ihre Axe gehenden Verticalebene drehten sich die Spulen zwischen den Polen derselben.[2]) Von Sinsteden

Fig. 26.



Maschine von Stöhrer.

wurde diese letzte Vorrichtung 1854 insoweit verbessert, als nach dem Vorgange Petrina's[3]) vier cylindrische mit Spiralen versehene Eisendrahtbündel zwischen den Magneten um eine zur Verbindungslinie ihrer Pole parallele Axe rotirten.[4])

---

[1]) Sturgeon Ann. of Electr., Bd. 4, S. 489, 1839. — [2]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 217, 1853. — [3]) Pogg. Ann., Bd. 64, S. 58, 1845. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 92, S. 220, 1854.

151. Es würde zu weit führen, all die mannigfachen Constructionen und Vorschläge zur Verstärkung der Wirkungen aufzuzählen. Im Wesentlichen kam man dabei doch nicht über gewisse Grenzen hinaus, welche eine Anwendung in grösserem Massstabe ermöglicht hätten. Es mögen daher blos noch die allgemeiner ver-

Fig. 27.

Alliance-Maschine.

wendeten Maschinen von Stöhrer[1]) und Dove[2]) Erwähnung finden, welche durch zweckmässige Einrichtung des Commutators bemerkenswerth erscheinen. Dem Dresdener Mechaniker E. Stöhrer gelang es zuerst 1844 eine

[1]) Wiedemann, Elektr., Bd. 4, S. 363, 1885; Schellen, Elektromagn. Telegraph, 4. Aufl., S. 80, 1867. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 56, S. 251, 1842.

namhafte Verstärkung der Wirkungen zu erzielen, indem er die Anzahl der Magnete und der Spiralen vermehrte (Fig. 26).[1]) Ihm folgten hierin 1849 der Professor der

Fig. 28.

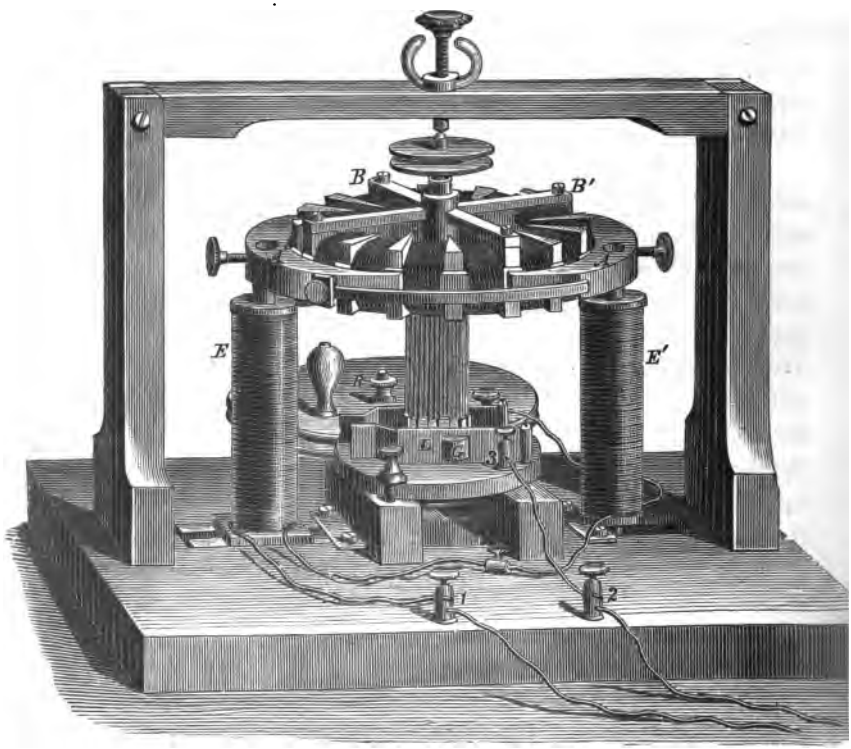
Werner Siemens.

Physik an der Kriegsschule zu Brüssel Nollet und 1856 Shephard, deren Apparat in der von van Malderen verbesserten Gestalt zuerst im Grossen zur elektrischen

[1]) Pogg. Ann., Bd. 61, S. 417, 1844.

vanischer Ströme in mechanische Bewegung dienen. Pacinotti bemerkte aber selbst, dass sie mit einer geringen Abänderung auch umgekehrt zur Erzeugung

Fig. 30.



Maschine von Pacinotti.

elektrischer Ströme durch mechanische Arbeit verwendet werden könne. Im Wesentlichen unterschied sie sich von dem Apparate von Siemens dadurch, dass die Drahtspiralen nicht einzeln auf radialen Spulen, sondern

nebeneinander auf einen geschlossenen Eisenring gewickelt waren, welcher zwischen den Schenkeln eines Elektromagnets rotirte. Die benachbarten Spiralen waren durch Holzkeile von einander getrennt; die Verbindung ihrer Drähte war wesentlich die gleiche wie bei Siemens. Nach Fontaine soll übrigens Page in Washington schon 1851 dasselbe Princip zur Anwendung gebracht haben, doch liess die von ihm darauf gegründete Maschine ziemlich viel zu wünschen übrig.[1])

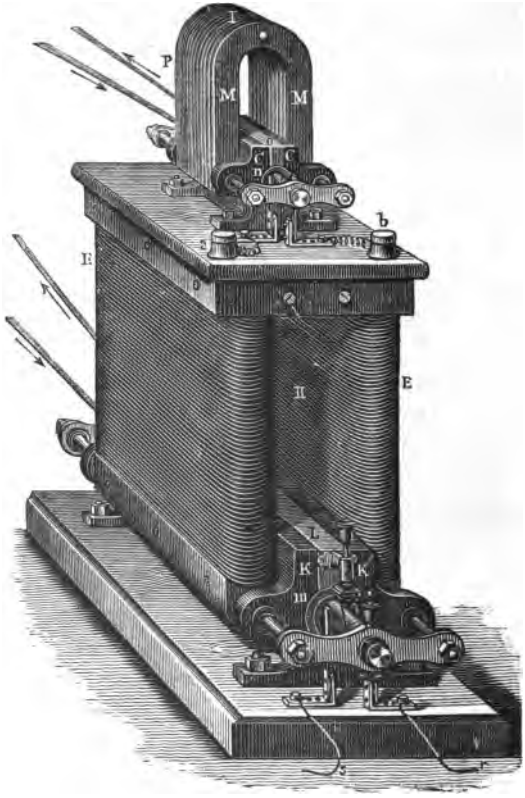
153. Schon im Jahre 1851 hatte Sinsteden darauf aufmerksam gemacht, dass man durch eine Vereinigung mehrerer magnetoelektrischer Maschinen eine Verstärkung der Inductionsströme erhalten könne, indem man nämlich an Stelle der Stahlmagnete Elektromagnete in Verwendung zieht und die in einer der Maschinen erzeugten Ströme immer dazu benützt, den Elektromagneten der nächsten zu erregen.[2]) Erst im April 1866 wurde dieser Gedanke von Wilde in Manchester ausgeführt.[3]) Er verband zwei Maschinen miteinander, von welchen die mit einem Stahlmagneten versehene kleinere dazu diente, den Elektromagnet der unter ihr befindlichen grösseren zu erregen. Die Maschine (Fig. 31) lieferte starke Ströme, welche zur elektrischen Beleuchtung, zu galvanoplastischen Zwecken, zur Ozon-Erzeugung und auch sonst bald mehrfach Verwendung fanden. Eine besondere Bedeutung gewann sie aber dadurch, dass sie zu einem wesentlichen Fortschritt in der Entwicklung der elektrischen Maschinen Veranlassung gab. Siemens zeigte nämlich am 17. Januar 1867, dass zur Erregung des

---

[1]) Silliman Journ., Bd. 11 und 12, 1851. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 84, S. 186, 1851. — [3]) Phil. Trans., S. 89, 1867.

Elektromagnets keine zweite Maschine erforderlich ist, da hierzu anfangs der im weichen Eisen stets vorhandene remanente Magnetismus genügt und dann später die durch

Fig. 31.



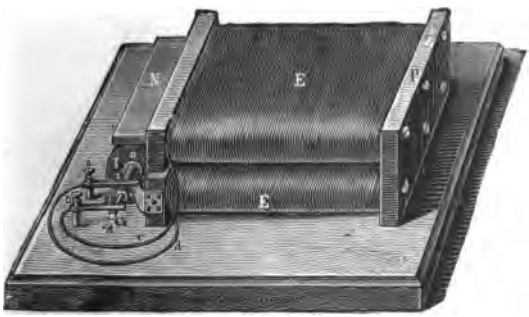
Maschine von Wilde.

den rotirenden Anker erzeugten Ströme durch die Windungen des Elektromagnets geleitet werden können.[1])

[1]) Pogg. Ann., Bd. 130, S. 322, 1867.

Durch dieses Princip wurde die Construction der sogenannten dynamoelektrischen Maschinen begründet. Die erste derartige Maschine (Fig. 32) war von Siemens schon im December 1866 erbaut worden. Dieselbe bestand aus zwei mit Drähten umwickelten Eisenplatten, welche auf der einen Seite durch einen Anker zu einem Elektromagnet vereinigt waren, während zwischen den beiden anderen Enden ein Siemens'scher Cylinderinductor rotirte. Eine derartige Maschine mit zwei Cylindern

Fig. 32.



Dynamoelektrische Maschine von Siemens.

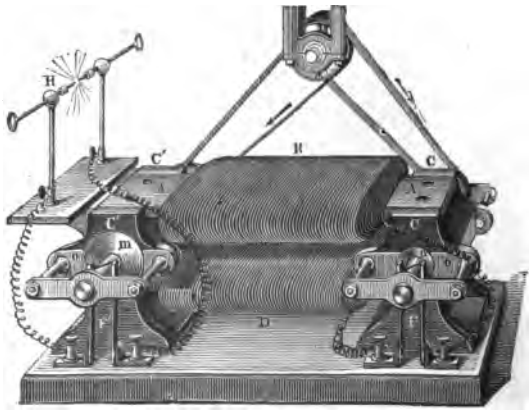
(Fig. 33) wurde darauf im Mai 1867 von dem Londoner Mechaniker Ladd zur Pariser Ausstellung gebracht.[1]) Fast gleichzeitig mit Siemens traten Murray, Varley und Wheatstone mit ähnlichen Maschinen hervor;[2]) es ist indessen unzweifelhaft, dass das Princip derselben in klarer und präciser Weise öffentlich zuerst von Siemens ausgesprochen worden ist.

---

[1]) Phil. Mag., Bd. 33, S. 547, 1867. — [2]) Wiedemann, Elektr., Bd. 4, S. 377, 1885.

154. Eine neue und für die Geschichte der Elektrotechnik hochbedeutsame Epoche begann im Jahre 1871, als Zénobe Théophile Gramme, Modellschreiner bei der Compagnie l'Alliance (Fig. 34), die Principien von Pacinotti und Siemens miteinander vereinigte. Ein diesbezüglicher Versuch war zwar von Professor Pfaundler in Innsbruck schon 1870 mit einem Apparate unternommen worden, welcher von dem Innsbrucker Mecha-

Fig. 33.



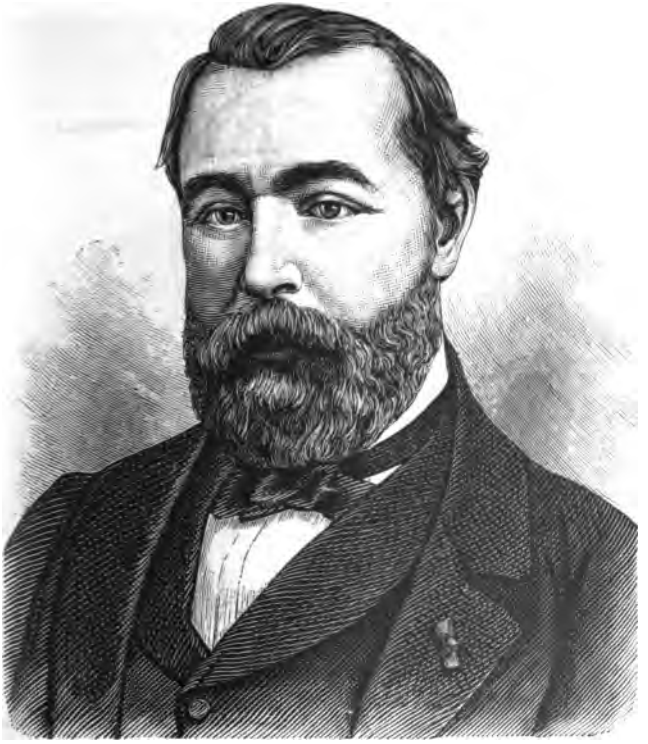
Maschine von Ladd.

niker Kravogl zunächst als elektromagnetischer Motor erfunden war und mit der Maschine Pacinotti's eine gewisse Aehnlichkeit besass; derselbe erhielt jedoch keine Verbreitung in weiteren Kreisen.[1]) Gramme kam ohne Kenntniss der Erfindung Pacinotti's selbständig auf den gleichen Gedanken. Anfangs wollte er einen Magnet innerhalb eines festen mit Drahtwindungen versehenen

[1]) Zeitschr. d. elektrotechn. Ver. in Wien, Bd. 1, 1883.

Eisenringes rotiren lassen; später wählte er die Einrichtung Pacinotti's, verbesserte aber die Anordnung des Apparates dadurch, dass er die Drähte der einzelnen

Fig. 34.



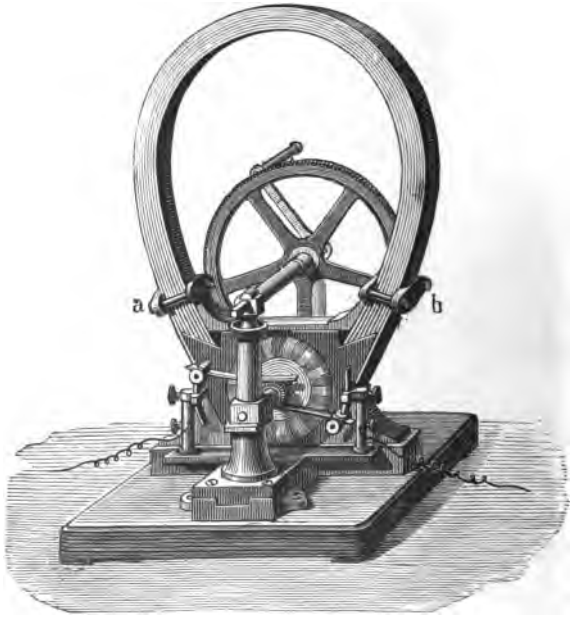
Zénobe Théophile Gramme.

Spulen in der Mitte des Ringes zusammenführte und manch andere zweckmässige Abänderung traf. Später sind von ihm zahlreiche Maschinen zu den verschiedensten Zwecken construirt worden; für den Handbetrieb

zog er selbstverständlich die Anwendung von permanenten anstatt der Elektro-Magnete vor (Fig. 35).[1])

Eine andere Form, um continuirliche Ströme zu erhalten, wurde dem Inductor im März 1872 durch den Chefingenieur der Siemens'schen Werkstätten

Fig. 35.



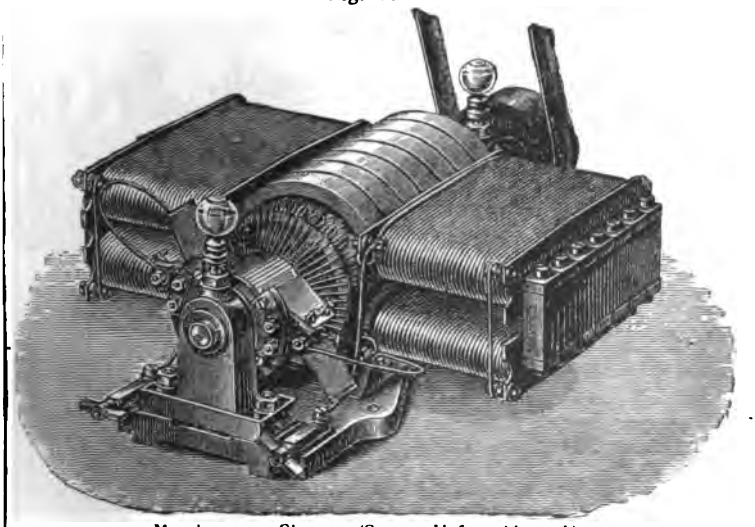
Gramme'sche Maschine für Handbetrieb.

Friedrich von Hefner-Alteneck gegeben.[2]) Er wickelte die Drähte statt um einen Ring um eine cylinderförmige Trommel der Länge nach parallel zur Axe und stellte dieselbe zwischen zwei Elektromagnete, deren gegenüber-

[1]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 179, 1884. — [2]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 228, 1884.

liegende gleichnamige Pole durch bogenförmige Eisenplatten miteinander verbunden waren, so dass sie den Inductor rings umfassten. Im Innern der Trommel befand sich ein fester Eisenkern. Durch geeignete Anordnung der Windungen wurden die aus den einzelnen Drahtpartien austretenden Ströme von wechselnder Rich-

Fig. 36



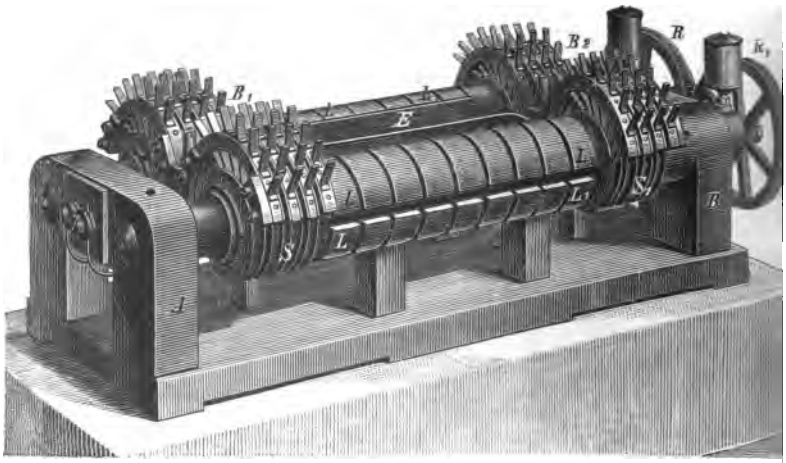
Maschine von Siemens (System Hefner-Alteneck).

tung zu einem einzigen beständigen Strome vereinigt. Später wurde der dazu dienende Collector fortgelassen und die Gramme'sche Verbindungsweise eingeführt; statt des trommelartigen Gehäuses umwickelte Hefner-Alteneck ferner direct den Eisencylinder (Fig. 36).

155. Die Maschinen von Gramme und Hefner-Alteneck sind die Ausgangspunkte für beinahe alle seitherigen Constructionen gewesen. So haben die ersteren

namentlich den Maschinen von Schuckert, Brush, Bürgin und Anderen, die letzteren jenen von Edison zum Vorbilde gedient. Die mannigfache Anwendung, welche diese Apparate sich in der Technik rasch zu erringen wussten, hat die verschiedenartigsten Abänderungen, je nach den dabei erstrebten Zwecken, hervorgerufen, namentlich wurden zahlreiche Maschinen für

Fig. 37.

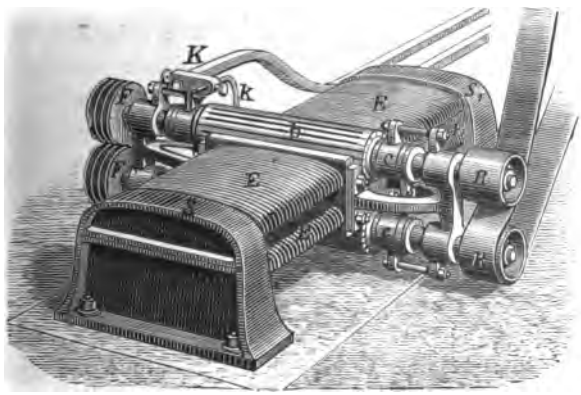


Unipolarmaschine von Siemens.

Wechselströme zur elektrischen Beleuchtung hergestellt. Im Principe lassen sich indessen fast alle auf die Einrichtung von Gramme und Hefner-Alteneck zurückführen. Nur eine Gruppe von Maschinen aus der jüngsten Zeit möge ihres theoretischen Interesses wegen noch Erwähnung finden, da sie die einzige ist, welche ohne Anwendung besonderer mechanischer Vorkehrungen continuirliche Ströme von gleicher Richtung und unver-

änderlicher Stärke liefert. Es sind dies die sogenannten Unipolarmaschinen. Die erste derselben (Fig. 37) wurde von Siemens construirt.[1]) Zu beiden Seiten eines Elektromagnets E rotiren zwei hohle Kupfercylinder, in welche die Schenkel eines zweiten festen Elektromagnets hineinragen. Andererseits besitzen die Pole des ersten Elektromagnets bogenförmige Ansatzstücke L, welche die Kupfercylinder ganz umschliessen. Die in diesen letzteren indu-

Fig. 38.



Unipolarmaschine von Ferraris.

cirten Ströme bewegen sich mit constanter Intensität stets in gleicher Richtung und werden durch Bürsten B_1, B_2 abgeleitet. Um Störungen durch andere Ströme zu vermeiden, sind die Kupfercylinder longitudinal geschlitzt. Eine andere Unipolarmaschine von Ferraris (Fig. 38) hat bereits praktische Anwendung gefunden.[2]) Diese Art

[1]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 341, 1884. — [2]) Urbanitzky, Elektr., S. 441.

von Maschinen dürfte sich namentlich für elektrochemische Zwecke in hohem Grade geeignet erweisen. Die Theorie der dynamoelektrischen Maschinen ist bisher namentlich von Frölich[1]) und Clausius[2]) bearbeitet worden.

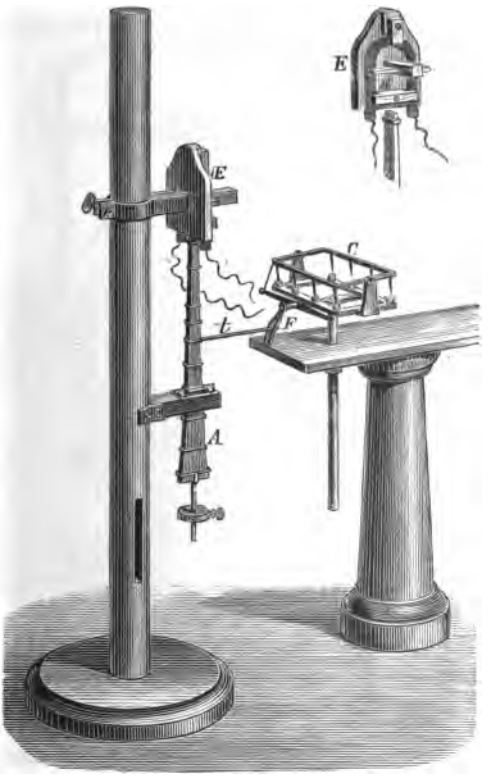
156. Die mannigfachen Rotationserscheinungen, welche vor Entdeckung der Inductionselektricität das Interesse der Physiker in hohem Grade beschäftigten, mussten den Gedanken nahelegen, die elektromagnetischen Wirkungen des Stromes zur Erzeugung mechanischer Bewegungen zu benützen. Wenn wir von den blos theoretisch wichtigen sogenannten „Rotationsapparaten" Faraday's und seiner Nachfolger absehen, zu denen auch das heute noch allgemein bekannte Barlow'sche Rädchen gehört, so sind die ersten elektromagnetischen Maschinen, welche den ausgesprochenen Zweck hatten, die magnetischen Kräfte elektrischer Ströme zur Verrichtung mechanischer Arbeit zu verwenden, im Jahre 1830 von Salvatore dal Negro in Padua construirt worden.[3]) Zwischen den Polen eines vom Strome durchflossenen Elektromagnets E pendelte ein Stahlmagnet A (Fig. 39) und kehrte durch seine Bewegung mittelst einer einfachen Hebelvorrichtung $t\,F$ und eines Commutators C selbstthätig die Stromrichtung um. Dadurch wechselten die von den Polen des Magnets auf ihn ausgeübten Kräfte ebenfalls beständig die Richtung, so dass der Magnet in dauernde Schwingungen gerieth. Aehnlich war die Wirksamkeit eines zweiten Apparates (Fig. 40), bei welchem der Magnet E an einem Hebel L angebracht war; durch den

---

[1]) Elektrotechn. Zeitschr., Bd. 2, S. 134 u. 170, 1881. — [2]) Wiedemann Ann., Bd. 20, S. 353, 1883. — [3]) La lumière électr., Bd. 7, 1883.

anderen Hebelarm *M* wurde ein Zahnrad *B*, an dessen Welle Schwungkugeln befestigt waren, in Drehung versetzt.

Fig. 39.

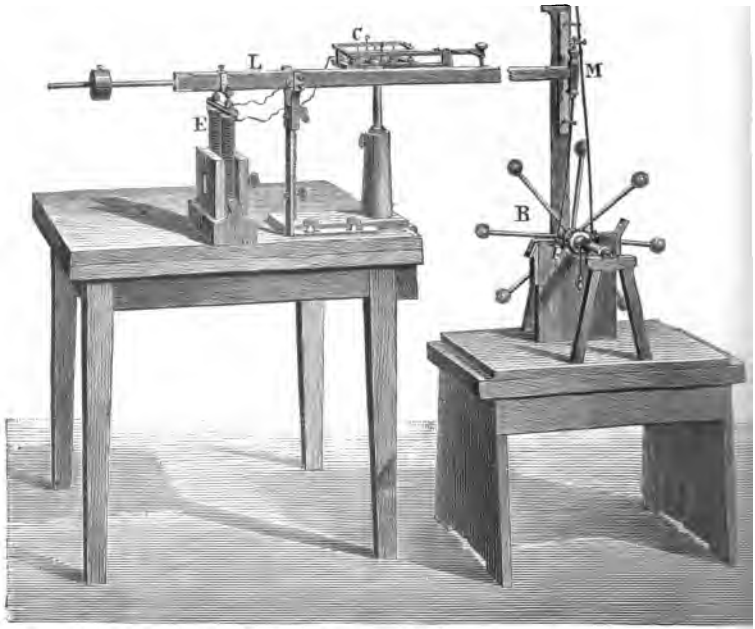


Dal Negro's erster Elektromotor.

Direct suchte 1833 Ritchie eine solche Rotationsbewegung zu erreichen, indem er den Elektromagnet vor dem Stahlmagnet rotiren liess; ein Commutator bewirkte

während der Drehung den regelmässigen Wechsel in der Richtung des Stromes, so dass sich der Elektromagnet stets in derselben Richtung fortbewegte.[1]) Es ist dies im Wesentlichen die Umkehrung der gleichgestalteten Maschine

Fig. 40.



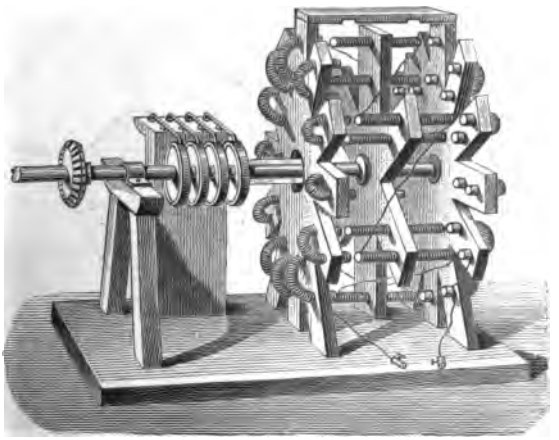
Dal Negro's zweiter Elektromotor.

zur Erzeugung elektrischer Ströme durch mechanische Bewegung. Auf Grund desselben Princips construirte Jacobi 1834 den ersten Elektromotor (Fig. 41), der wirklich zur praktischen Anwendung kam. Zwei parallele

[1]) Phil. Trans., Bd. 2, S. 318, 1838.

Ständer tragen strahlenartig je 12 hufeisenförmige Elektromagnete; zwischen ihnen rotirt ein Rad mit sechs Paar geraden Elektromagneten. Ein vierscheibiger Commutator dient zur Umkehr der Stromrichtung und ermöglicht dadurch eine fortdauernde Rotation. Mit dieser Maschine gelang es Jacobi 1838 ein Boot auf der Newa in Bewegung zu setzen.[1]) Dieses Ereigniss erregte allgemein

Fig. 41.



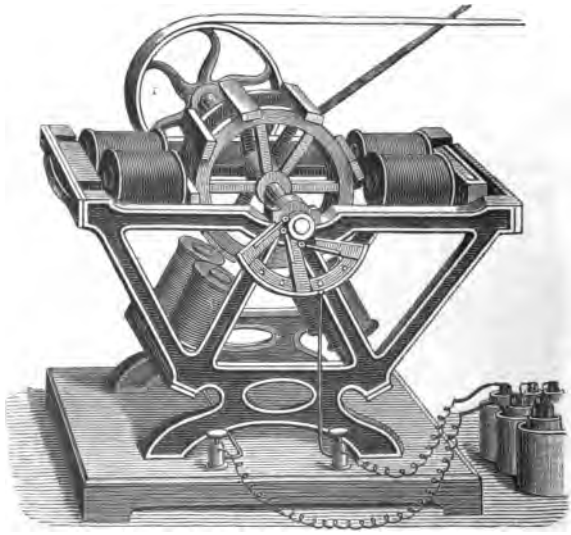
Elektromotor von Jacobi.

grosses Aufsehen, zumal da Stratingh und Becker in Gröningen 1835 und Botto in Turin 1836 auch einen elektromagnetischen Wagen construirt hatten.[2]) Namentlich an Versuche, welche von Wagner in Frankfurt am Main unternommen wurden, knüpfte man grosse Hoffnungen, doch führten sie nicht zu den gewünschten Resultaten. Praktischer waren die mannigfachen Apparate,

[1]) Pogg. Ann., Bd. 51, S. 366, 1840. — [2]) Pogg. Ann., Bd. 47, S. 78. 1839.

welche in den Jahren 1844 bis 1862 mit unermüdlicher Ausdauer Froment construirte.[1]) So liess er z. B. 1845 ein Rad mit Querstäben aus weichem Eisen zwischen hufeisenförmigen Elektromagneten rotiren (Fig. 42). Allein seine Maschinen vermochten ebensowenig zu befriedigenden Resultaten zu führen, wie die seiner zahl-

Fig. 42.



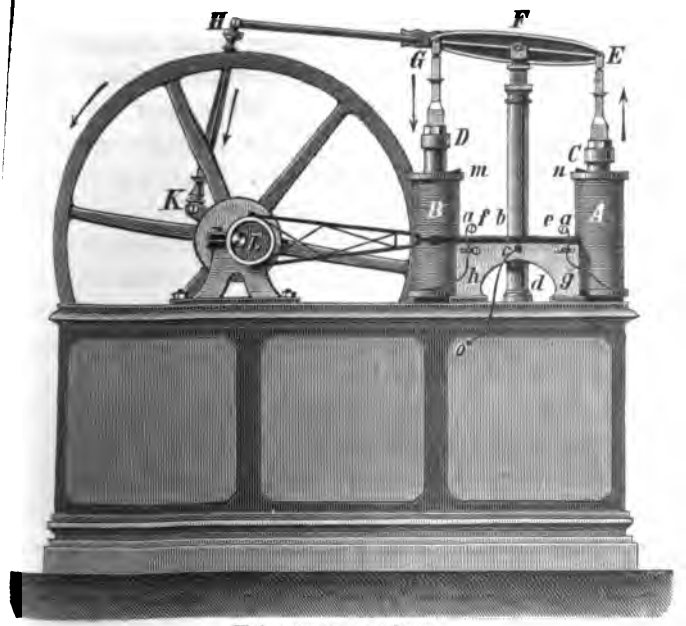
Elektromotor von Froment.

reichen Nebenbuhler und Nachahmer, unter denen nur noch Page erwähnt werden mag. Dieser benützte die hin- und hergehende Bewegung zweier Eisenkerne in ihren Spiralen *A*, *B*, um durch sie vermittelst eines Hebels ein Schwungrad in Rotation zu versetzen und die Rich-

[1]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 181, 1853.

tung der Ströme beständig zu wechseln (Fig. 43). Von praktischer Bedeutung wurden die elektromotorischen Apparate erst, als das Princip der Umkehrbarkeit auf die magneto- und dynamoelektrischen Maschinen angewandt wurde. Es geschah dies schon 1861 durch

Fig. 43.

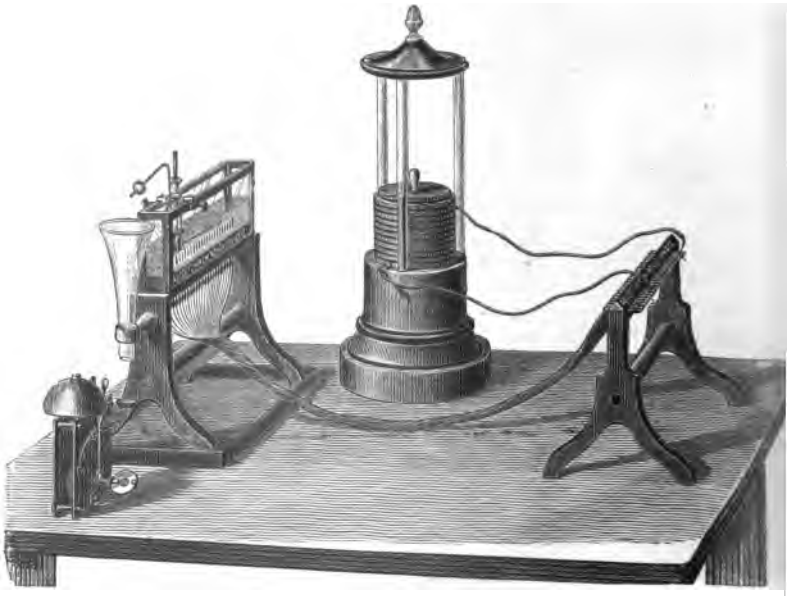


Elektromotor von Page.

Pacinotti und 1867 durch Siemens. Durch die Fortschritte in der Construction der elektrischen Maschinen erlangte das Problem der Kraftübertragung auf elektrischem Wege bald praktischen Werth und mit der von Siemens und Halske 1879 erbauten ersten elektrischen Eisenbahn wurde die Reihe einer grossen Anzahl höchst

aufeinanderfolgende Zeichen ausgedrückt, von welchen das dem Wasserstoffpol entsprechende zuerst gelesen werden sollte. Später wurde von Sömmering zur Sauerstoffabscheidung ein besonderer Draht in Gebrauch ge-

Fig. 46.



Sömmering's Telegraph.

nommen und lediglich der Wasserstoffpol zur Zeichengebung benützt. Die durch Umspinnung mit Seide von einander isolirten Drähte vereinigte er ferner zur Vereinfachung der Leitung zu einem gewundenen Seile. Mit diesem Apparate (Fig. 46) gelang ihm die telegraphische Verständigung bis auf Entfernungen von 10.000

Fuss (über 3000 Meter). Indem das aufsteigende Gas durch den Druck auf einen Hebelarm eine am anderen Arm aufgesteckte Bleikugel auf ein Metallschälchen herabfallen machte, wurde ein mit letzterem verbundenes Glocken-Uhrwerk ausgelöst und durch diesen ersten „Weckapparat" der Beginn einer Nachricht angekündigt. In Folge der hohen Kosten einer Leitung von so zahlreichen Drähten kam es indessen nicht zu einer praktischen Verwendung der Erfindung im Grossen.

159. Ein wesentlicher Fortschritt in der elektrischen Telegraphie wurde durch die Erfindung Oersted's angebahnt. Sehr bald nach derselben, nämlich schon am 20. October 1820, machte Ampère einen diesbezüglichen Vorschlag, welcher mit jenem Sömmering's grosse Aehnlichkeit besass, nur dass an Stelle der chemischen Zersetzung die Ablenkung von Magnetnadeln durch hin- und hergehende Leitungsdrähte bewirkt werden sollte. Die Tasten einer Claviatur sollten bei ihrem Niedergehen den Stromschluss für die einzelnen Drähte vermitteln.[1]) Wie Tyndall erwähnt, soll übrigens schon vorher Laplace sich mit ähnlichen Plänen beschäftigt haben.[2]) Von Ritchie und später von Davy wurde Ampère's Gedanke unter Verwendung des inzwischen erfundenen Multiplicators im Kleinen auch ausgeführt und durch Benützung einer einzigen gemeinsamen Rückleitung die Anzahl der Drähte und damit die Herstellungskosten beinahe um die Hälfte vermindert.[3]) Von noch grösserem Werthe

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 15, S. 72, 1820. — [2]) Tyndall, Elektr. Erscheinungen und Theor., S. 40, 1884. — [3]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 297, 1867.

war eine Bemerkung, welche 1832 von dem fünf Jahre

Fig. 47.

J. C. F. Gauss. W. E. Weber.

später verstorbenen russischen Staatsrath Baron Schilling v. Canstadt gemacht wurde. Er wies nämlich darauf

hin, dass schon eine einfache Hin- und Rückleitung zur Verständigung vollkommen ausreiche, indem man durch geeignete Combinationen von Ablenkungen der Nadel nach einer oder der anderen Seite hin alle zur Correspondenz erforderlichen Zeichen zu geben im Stande sei.[1]) Schilling gelangte nicht zur Verwirklichung dieser Ideen, und so sind im Jahre 1833 Gauss und Wilhelm Weber (Fig. 47) die ersten gewesen, welche einen elektrischen Nadeltelegraphen zwischen dem magnetischen Observatorium und dem physikalischen Cabinet in Göttingen mit einem doppelten, im Ganzen nahezu 9000 Fuss (2800 Meter) langen Leitungsdraht zur Ausführung im Grossen und zur praktischen Anwendung brachten.[2]) Unabhängig von Schilling befolgten sie nahezu dieselben Principien. Ein vom Multiplicator *B*, *B* umgebener Magnetstab *A* war mit einem kleinen Spiegel *M* verbunden, durch welchen die Ablenkung mittelst eines Fernrohres und einer Scala beobachtet werden konnte (Fig. 48). Als Stromquelle diente anfangs ein galvanisches Element, später eine Inductionsspule, welche mittelst eines Hebels über einem oder zwei astatisch verbundenen Magneten hin- und hergeschoben wurde. Damit war Faraday's grosse Entdeckung der Inductionselektricität für die elektrische Telegraphie zum erstenmale verwerthet, um hinreichend starke Ströme von constanter Intensität stets bereit zu haben. Um die Nadel rascher zur Ruhe zu bringen, machte Gauss dieselbe nahezu astatisch und umgab sie mit einem Kupfergehäuse, in welchem durch die Be-

[1]) Allg. Bauzeitung, S. 410, 1837. — [2]) Göttinger gelehrte Anzeigen, Bd. 2, S. 1272, 1834 und Bd. 1, S. 351, 1835.

160. Von Gauss dazu angeregt, wandte sich der

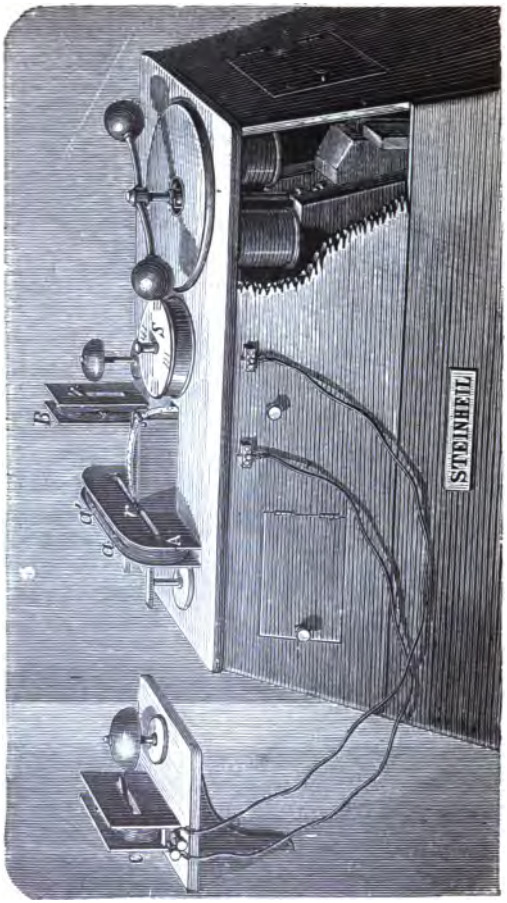


Fig. 50. Steinheil's Telegraph.

Münchener Professor Karl August Steinheil, geboren am 12. October 1801 und am 14. September 1870

gestorben (Fig. 49), der weiteren Ausbildung dieser für das praktische Leben so wichtigen Anwendung der Elektricitätslehre zu. Es gelang ihm dies in so glänzender Weise, dass er der eigentliche Begründer der modernen Telegraphie genannt werden kann.[1]) Zunächst ersetzte er den Weber'schen Stromerreger durch einen bequemeren Inductionsapparat, der jenem von Ritchie ähnlich construirt war und dessen Anker durch einen mit Schwungkugeln versehenen Hebel in beliebiger Richtung gedreht werden konnte. Der Empfangsapparat wurde von ihm in doppelter Weise verbessert. An Stelle eines einzigen Magnets wandte er zwei in einer geraden Linie liegende, um verticale Axen *a*, *a'* drehbare Nadeln an, welche durch danebenstehende Magnete eine bestimmte Richtung erhalten. Die einander zugekehrten Enden derselben haben Messingfortsätze, während die beiden anderen durch Platten an der Bewegung nach der einen Seite gehindert werden. Je nachdem nun an den Messingfortsätzen kleine Hämmer, denen sich Glocken von verschiedenem Klange gegenüber befinden, oder Schreibgefässe angebracht sind, welche durch feine Spitzen eine schwarze Farbe ausfliessen lassen, kann der Apparat die Zeichen dem Gehöre vernehmbar machen oder in Form einer Schrift fixiren. Im letzteren Falle (Fig. 50) wird den Farbnäpfen gegenüber ein langer Papierstreifen durch ein Uhrwerk mit gleichmässiger Geschwindigkeit fortbewegt und die Zeichen werden als Punkte in zwei Reihen auf demselben abgedruckt. Die Combination von höchstens vier Glockenschlägen oder Punkten liefert die verschiedenen

---

[1]) Steinheil, Ueber Telegraphie, 1838; Dingler's Journ., B. 67, S. 390, 1838 und Bd. 70, S. 292, 1839.

Buchstaben und Ziffern. Magnete, die bei ihrer Ablenkung durch den Strom gegen Glocken anschlagen, dienen als Alarmapparate *B*, *C*. Mit diesen 1837 erfundenen Vorrichtungen wurde im Juli des nächstfolgenden Jahres zunächst eine telegraphische Verbindung zwischen der Wohnung Steinheil's, dem physikalischen Cabinet in der Münchener Akademie und der Sternwarte zu Bogenhausen in der Gesammtlänge von 37.500 Fuss (mehr als 10 Kilometer) hergestellt.

Schon 1835, als die erste grössere Eisenbahn in Deutschland zwischen Leipzig und Dresden gebaut werden sollte, hatten die aufsehenerregenden Versuche von Gauss und Weber im Gremium der Verwaltung dieser Bahn den Gedanken wachgerufen, die neue Erfindung im Interesse des Eisenbahnwesens zur Erhöhung der Sicherheit zu verwerthen. In Briefen vom 12. Juni 1835 und vom März 1836, respective in einem Aufsatz vom 15. September 1835 hatten Weber und Gauss eingehende Erörterungen über dieses Vorhaben angestellt.[1]) Allein die hohen Kosten der Leitung hatten die Gesellschaft vor weiteren Schritten zurückgeschreckt, da man bald erkannte, dass der Vorschlag der Gelehrten, die eisernen Schienen als Leitung zu benützen, wegen der mangelhaften Isolation derselben nicht ausführbar war. Dies veranlasste Steinheil, 1838 auf der Eisenbahnstrecke Nürnberg-Fürth genauere Versuche über die Leitungsfähigkeit der Erde anzustellen, und diese brachten ihn auf den Gedanken, die Erde selbst zur Rückleitung zu verwenden, indem er sie durch Kupferbleche von einigen Quadratfuss (nicht ganz 1 Quadratmeter) Oberfläche mit den Apparaten

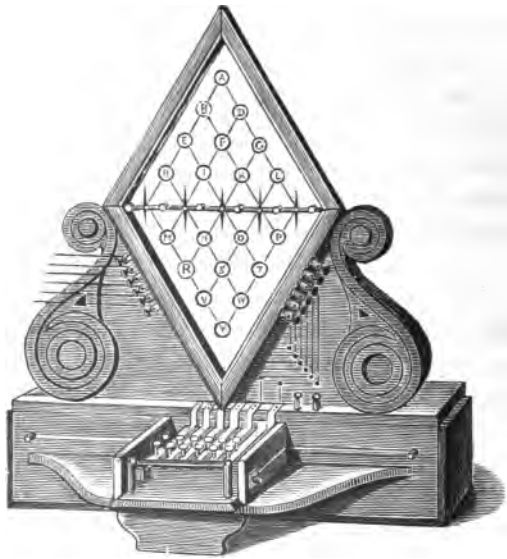
[1]) Acten der Leipzig-Dresdener Eisenb.-Ges., Bd. 1, S. 1.

in Verbindung setzte. Er zeigte, dass dadurch nicht nur die Hälfte der metallischen Leitung erspart, sondern in Folge des geringen Widerstandes der Erdschicht die Intensität des Stromes auch beträchtlich erhöht wird. Durch diese Entdeckung war der Kreis von Kenntnissen abgeschlossen, welche der weiteren Entwicklung der Telegraphie zu Grunde liegen; alles Uebrige seither ist Sache der mechanisch-construirenden Technik gewesen.

161. Inzwischen hatte auch Charles Wheatstone, geboren im Jahre 1802, gestorben 19. October 1875, vermuthlich durch Fothergill Cooke veranlasst, der Ausbildung des elektrischen Telegraphen seine Kräfte gewidmet. Cooke hatte dabei vor Allem die Anwendung desselben für Eisenbahnzwecke im Auge, von der er sich ausserordentliche Vortheile versprach. Nachdem er zunächst einen einfachen Signalapparat construirt hatte, welcher durch die Ablenkung einer Magnetnadel die Richtung eines auf der Strecke befindlichen Zuges angab, und nachdem er darauf in ähnlicher Weise zwei Nadeln zur Bezeichnung von acht Signalen vereinigt hatte, suchte er seinen Apparat auch zur Vermittlung von Worten geeignet zu machen, indem er die Anzahl der Nadeln auf fünf erhöhte. Auf diese Einrichtung (Fig. 51) wurde von ihm und Wheatstone im Jahre 1837 ein Patent genommen und dieselbe probeweise im nächstfolgenden Monat auf der $1^1/_4$ Meilen langen Eisenbahnstrecke zwischen London und Birmingham eingeführt. Zu jeder der fünf Nadeln gehörte ein besonderer Leitungsdraht, und indem jedesmal durch zwei derselben der Strom hin- und zurückgeschickt wurde, erhielten gleichzeitig immer zwei Nadeln nach entgegengesetzten Seiten eine Ablenkung; jede von den so entstehenden 20 Combinationen

entsprach einem Buchstaben des Alphabets; später wurde die Anzahl derselben durch Hinzunahme eines sechsten Leitungsdrahtes um zehn weitere vermehrt.[1]) Die hohen Kosten der Ausführung zeigten sich indessen auch hier bald als Hinderniss. So kam es, dass Wheatstone und

Fig. 51.



Cooke's Nadeltelegraph.

Cooke wieder zu dem Apparat mit einer Nadel (Fig. 52) zurückkehrten, indem sie, dem Vorgange von Gauss und Weber folgend, von der Combination der Ausschläge zur Bezeichnung der verschiedenen Buchstaben Gebrauch machten. Zur Aufhebung des erdmagnetischen Einflusses

[1]) Shaffner, Telegr. manual, S. 199, 1859.

wurde die Nadel astasirt, indem sie mit einer zweiten von entgegengesetzter Richtung verbunden wurde, welche — auf der Vorderseite des Kastens liegend — zugleich als Zeiger diente. Ein passend eingerichteter Commutator mit Handgriff besorgte die richtige Verbindung der Leitung in der Art, dass die gegebenen Zeichen gleichzeitig auf beiden Stationen wahrgenommen wurden. Die

Fig. 52.[1]

Einnadeltelegraph von Cooke und Wheatstone.

dadurch ermöglichte Controle und die Empfindlichkeit des Apparates für schwache Ströme haben ihm namentlich auf englischen Bahnen eine ziemlich starke Verbreitung verschafft. Um die Schnelligkeit des Telegraphirens zu erhöhen, vereinigten die Erfinder zwei derartige Apparate, so dass die Ablenkungen beider Nadeln miteinander combinirt werden; indessen sind dann natürlich auch die Kosten nahezu die doppelten.[1])

[1]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 319 und 323, 1867.

162. In demselben für die Geschichte der elektrischen Telegraphie so wichtigen Jahre 1837, in welchem Steinheil, Wheatstone und Cooke mit den von ihnen erfundenen Apparaten die ersten praktischen Ver-

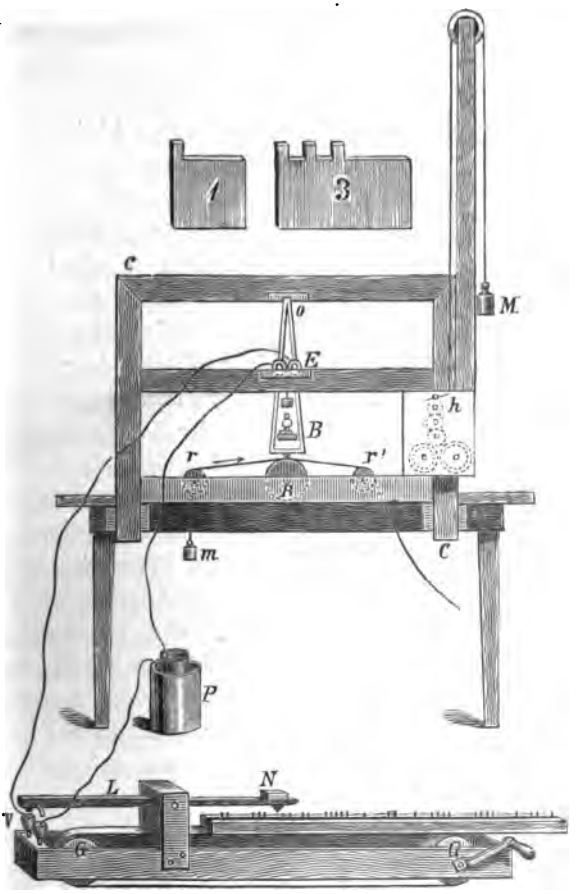
Fig. 53.

Samuel F. B. Morse.

suche anstellten, gelang es dem amerikanischen Maler Samuel Finley Breese Morse, geboren am 27. April 1791 und am 2. April 1872 in der Nähe von New-York gestorben (Fig. 53), nach mehrjährigen Bemühungen

eine Vorrichtung zu ersinnen (Fig. 54), welche in ihrer

Fig. 54.



Morse's Telegraph.

weiteren Ausbildung die grösste Bedeutung und Verbrei-

tung erlangt hat.[1]) Gleich Steinheil war auch Morse bestrebt, bleibende Zeichen herzustellen. Er suchte dies dadurch zu erreichen, dass er einen Papierstreifen $r\ r'$ unter einem Schreibstift fortgleiten liess. Der Stift war an einem Pendel $o\ B$ befestigt, welches durch die Anziehung eines Elektromagnets E aus der Ruhelage abgelenkt wurde, so dass auf dem Papier eine zackenförmige Linie entstand. Die Schliessung und Unterbrechung des Stromes wurde dadurch bewerkstelligt, dass das eine Ende eines zweiarmigen Hebels L einen Drahtbügel trug, welcher beim Eintauchen in zwei Quecksilbernäpfe V die Leitungsdrähte miteinander verband, während ein Stift am anderen Ende des Hebels N durch Bleitypen mit zackenförmigen Einschnitten, *1*, *3*, welche mittelst einer Kurbel G hin- und herbewegt werden konnten, abwechselnd gesenkt und gehoben wurde. Die Anzahl der Zacken bezeichnete die entsprechende Ziffer; durch Combination der Ziffern zu Zahlen konnten alle möglichen Wörter dargestellt werden, sobald man die Bedeutung der einzelnen Zeichen in einem besonderen telegraphischen Wörterbuche fixirt hatte. Der erste Versuch mit diesem Apparat gelang am 4. September 1837. Die umständliche Benützung des Wörterbuches liess ihn für die Praxis zwar wenig geeignet erscheinen; er ist indessen dadurch von besonderem historischen Interesse, dass hier zuerst an Stelle einer Nadel mit dauerndem Magnetismus die zeitweilige Erregung eines Elektromagnets zur Verwendung kam, welche für die seitherige Ausbildung des Telegraphenwesens von massgebender Bedeutung gewesen ist.

---

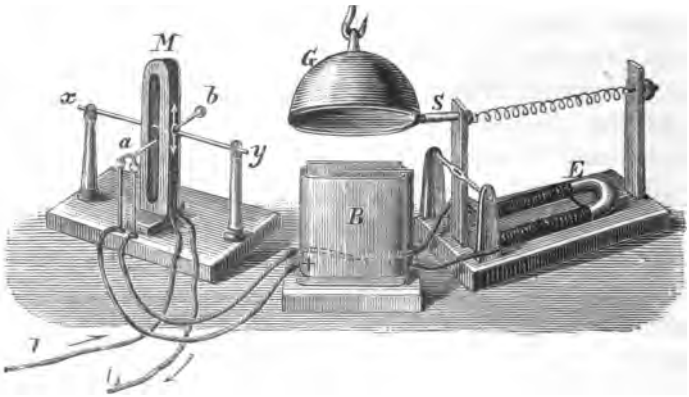
[1]) Compt. rend., Bd. 7, S. 593, 1843; Dub, Anwend. d. Elektromagn., S. 352, 1863.

163. Während Morse sich mit der Verbesserung seiner Erfindung beschäftigte, war Wheatstone eifrig bemüht, die schon von Schilling und Steinheil versuchte Construction eines Weckapparates einer gewissen Vollendung entgegen zu führen. Das Bestreben, auch stärkere Läutewerke durch die verhältnissmässig schwachen Ströme einer Batterie in Thätigkeit zu versetzen, brachte ihn zur Auffindung zweier Principien, welche sich für die Entwicklung der Telegraphie im weitesten Sinne des Wortes als äusserst fruchtbar erwiesen haben. Zunächst entstand in ihm, ähnlich wie früher in Morse, der Gedanke, zum genannten Zwecke die Kraft eines Elektromagnets zu verwenden, der, in die Leitung eingeschaltet, durch Anziehen eines Ankers einen Hebel bewegt, so dass ein an diesem befestigter Hammer gegen eine Glocke anschlägt; er fand aber bald, dass dadurch der Strom in hohem Grade geschwächt wird und für grössere Hämmer nicht die genügende Kraft besitzt. Dies veranlasste ihn, ein besonderes Uhrwerk zu Hilfe zu nehmen, das durch die Bewegung des Ankers blos ausgelöst wird, und durch diese Verbindung der elektromagnetischen mit einer mechanischen Kraft schuf er das Mittel, welches grosse Arbeitsleistungen in bedeutender Entfernung zu vollbringen ermöglicht und als die Grundlage vieler wichtiger Zweige der Elektrotechnik betrachtet werden muss.[1]) Da indessen auch das Auslösen eines schwereren Uhrwerks noch einen grösseren Kraftaufwand erfordert, suchte Wheatstone die Leistung des Stromes noch mehr zu verringern, indem er ihn blos zur Schliessung eines zweiten Stromkreises benützte (Fig. 55). Die

[1]) Mech. Mag., S. 162 und 189, 1833.

Leitungsdrähte dieses letzteren enden nämlich,[1]) ähnlich wie bei Morse, in zwei Quecksilbernäpfchen, über denen an dem einen Ende eines Hebels ein Messingbügel *a* beweglich ist. Sobald nun eine mit dem Hebel verbundene Magnetnadel, welche der erste Strom in Multiplicatorwindungen *M* umfliesst, aus ihrer Ruhelage abgelenkt wird, tauchen die Enden des Bügels in die beiden Näpfchen und bringen den sogenannten Localstrom zur

Fig. 55.



Wheatstone's Relais.

Schliessung. Dieser letztere wird von einer auf der Station selbst befindlichen Batterie *B* in genügender Stärke erzeugt, um entweder einen Hammer *S* direct gegen eine Glocke *G* anschlagen zu lassen oder die Hemmung eines Uhrwerks aufzuheben. Dieses Princip, die Thätigkeit der Linien- oder Leitungsbatterie auf eine Ortsbatterie zu übertragen, indem jene blos zum Stromschluss der letzteren benützt

[1]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 293, 1863.

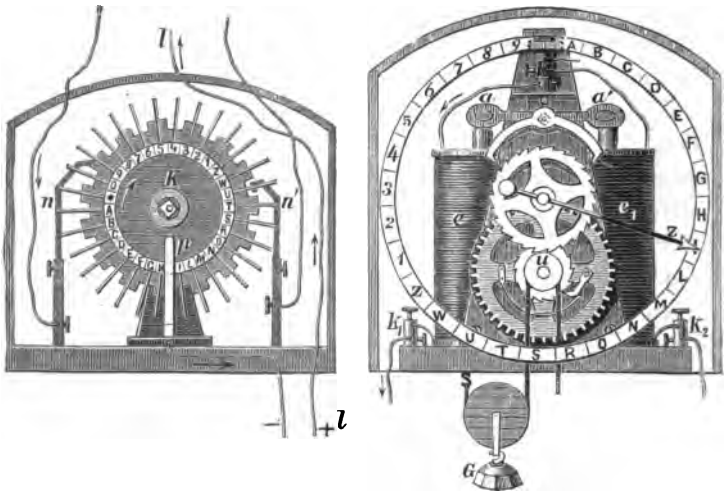
wird, ist für die Telegraphie von grosser Wichtigkeit geworden, und diese von Wheatstone zuerst 1839 construirte Vorrichtung, das sogenannte Relais, hat im Laufe der Zeit, den Fortschritten der Telegraphie entsprechend, eine grosse Anzahl von Veränderungen erfahren.

164. Die Unbequemlichkeit der besonderen Zeichensprache bei den bisherigen Telegraphen hatte Cooke schon im Jahre 1836 veranlasst, die Mittheilung von Buchstaben dadurch zu versuchen, dass in den beiden Stationen zwei Scheiben durch Räderwerke in gleichmässiger Drehung erhalten werden, welche mit Hilfe eines Elektromagnets in dem Augenblicke gehemmt wird, wenn von den am Rande der Scheiben angebrachten Buchstaben der betreffende vor einer Oeffnung erscheint.[1]) Es war Cooke indessen nicht gelungen, eine vollkommen gleichmässige Bewegung der beiden Scheiben zu erzielen. Diesen grossen Uebelstand beseitigte Edward Davy, indem er durch eine Hemmung die beständige Drehung des Rades am Empfangsapparate in eine ruckweise verwandelte. Der am 4. Januar 1839 patentirte Apparat ist auch dadurch interessant, dass bei ihm zum erstenmal nach Sömmering wieder die elektrochemische Zersetzung benützt wurde, und zwar mit der seither beibehaltenen wesentlichen Aenderung, dass auf einem chemisch präparirten Stoffe Zeichen durch den Strom hervorgebracht wurden.[2]) Die Einrichtung war indessen viel zu complicirt, als dass sie praktisch hätte zur Anwendung kommen können, und so war Wheatstone im gleichen Jahre der erste, welcher einen wirklich

[1]) Urbanitzky, Elektr, S. 992, 1884. — [2]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 295, 1863.

brauchbaren „Zeigerapparat" erfand (Fig. 56). Der Zeichengeber besteht bei demselben aus einem Zahnrade K, in welches zwei Federn n, n' derart eingreifen, dass immer gleichzeitig eine in eine Lücke und die andere auf einen Zahn zu liegen kommt. Durch Leitungsdrähte k_1, k_2 sind dieselben mit zwei Elektromagneten e, e_1 verbunden, welche

Fig. 56.



Wheatstone's Zeigertelegraph.

dem Empfangsapparate der anderen Station angehören; ein dritter Draht l führt von dem einen Pol der Batterie ebenfalls zur Empfangsstation hin, wo er mit den beiden anderen Enden der Umwindungsdrähte der Elektromagnete in einer Klemme k zusammentrifft. Der zweite Pol der Batterie steht mit dem Ständer des Speichenrades p in Verbindung. Es wird daher bei der Drehung dieses letzteren der Strom vom positiven Pol der

Batterie *l* abwechselnd durch einen der beiden Elektromagnete und die entsprechende Feder in das Speichenrad und von diesem zur Batterie zurückfliessen; dadurch werden die Magnete abwechselnd erregt, es wird ein hebelartiger gemeinsamer Anker *a a'* bald von dem einen, bald von dem anderen angezogen werden und die gleiche schwingende Bewegung wird auf eine Hemmung übertragen, deren Sperrhaken in das Zahnrad eingreifen. Es kann in dieser Weise das von einem Gewichte *G* getriebene Uhrwerk *u*, welches das Zeigerrad zu drehen bestrebt ist, in seinem Gange beliebig lang gehindert werden, so dass der mit ihm verbundene Zeiger *z* immer nur sprungweise vorwärts rücken kann, wenn das Rad der Aufgabsstation um einen Zahn weitergedreht wird. Wenn daher die Räder beider Stationen mit einer kreisförmigen Eintheilung versehen sind, welche Buchstaben und sonstige Zeichen enthält, die je einem Zahn der beiden Räder entsprechen, kann man durch Drehen des Rades der Aufgabsstation gleichzeitig jenes der Empfangsstation auf ein beliebiges Zeichen einstellen.[1])

165. In demselben Jahre, in welchem Wheatstone's Zeigerapparat patentirt wurde, erhielt auch Morse am 20. Juni 1840 ein Patent auf einen Telegraphen, welcher im Principe von dem noch heute gebräuchlichen nicht sehr verschieden ist. An Stelle des Pendels im früheren Apparat war ein horizontaler Hebel mit einem Anker getreten, der von dem verticalen Elektromagnet angezogen werden konnte. Durch diese neue Anordnung der einzelnen Theile war eine wesentliche Verbesserung der Zeichenschrift ermöglicht; denn indem ein Papierstreifen über

[1]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 360, 1867.

den am Hebel befindlichen Schreibstift hinweggeführt wurde, konnte dieser nur Spuren hinterlassen, wenn der andere Hebelarm, vom Elektromagnet angezogen, sich nach abwärts bewegte. An Stelle der zackenförmigen Linien traten jetzt einzelne Punkte und Striche, deren Combination die Darstellung der Buchstaben und Ziffern erlaubte, ohne zu einem besonderen Wörterbuch die Zuflucht zu nehmen. Anfangs wurde auch die Länge der Striche in Rücksicht gezogen, bis vielfache Irrungen diese Bestimmung als unpraktisch erkennen liessen. Der Strom wurde in einfacher Weise durch Niederdrücken eines sogenannten Schlüssels oder Tasters geschlossen, indem dadurch die Enden der beiden Leitungsdrähte miteinander in Verbindung gesetzt wurden. Um eine doppelte Leitung zu vermeiden, zeigte es sich dabei als nothwendig, im Ruhezustande den Strom fortdauernd verkehren zu lassen, damit die Stationen sich anrufen können, und ihn nur während der Unterredung zeitweilig zu öffnen. Die rasche Abnützung des Schreibstiftes veranlasste Morse endlich, denselben durch Stahlspitzen zu ersetzen, welche statt farbiger Abdrücke Vertiefungen auf dem Papier hinterlassen. In dieser Gestalt wurde Morse's Apparat auf einer mit Unterstützung der Regierung erbauten 40 Meilen langen Versuchslinie zwischen Washington und Baltimore am 27. März 1844 zur Beförderung der ersten telegraphischen Depesche verwendet. Die anfangs riesenhaften Dimensionen des Elektromagnets wurden auf Vorschlag Page's nicht lange beibehalten und in der compendiöseren Form verschaffte sich Morse's Schreibtelegraph bald überall die grösste Verbreitung. Im Laufe der Zeit wurden freilich die verschiedenartigsten Abänderungen und Ver-

besserungen mit demselben vorgenommen, das Grundprincip ist aber das gleiche geblieben.[1])

166. Mit Morse's Erfindung war die Entwicklung der elektrischen Telegraphie zu einem gewissen Abschluss gelangt. Es waren die Typen der verschiedenen Apparate geschaffen, welche von da an nur noch eine weitere Ausbildung und Vervollkommnung erfuhren. Der Versuch von Vorsselmann de Heer aus dem Jahre 1839, die physiologischen Wirkungen der Ströme zur telegraphischen Uebertragung von Zeichen zu benützen, hat trotz seiner Einfachheit wegen der grossen Anzahl der Drähte keine Nachahmung gefunden.[2]) Der Nadeltelegraph von Cooke und Wheatstone hat sich dagegen in Folge der eigenthümlichen Patentgesetzgebung in England bis zum heutigen Tage erhalten und auch eine Modification desselben von Bain aus dem Jahre 1843 war in Oesterreich durch lange Zeit in Gebrauch.[3]) Besonders fanden dieselben zur Signalgebung auf Eisenbahnen vortheilhafte Verwendung. Gegenwärtig sind sie namentlich in der von William Thomson gegebenen Einrichtung für die unterseeische Telegraphie noch von der grössten Bedeutung.[4]) Die Zeigerapparate wurden hauptsächlich von Bréguet,[5]) Siemens und Halske,[6]) Froment[7]) und Kramer[8]) verbessert und

---

[1]) Shaffner, Telegr. manual, S. 423, 1859. — [2]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 296, 1867. — [3]) Zetzsche, Handbuch d. Telegr., Bd. 1, S. 185, 1880. — [4]) Dingler's Journ., Bd. 127, S. 255, 1853. — [5]) Gavarret, Télégr. électr., S. 114, 1861. — [6]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 364, 1867. — [7]) Dingler's Journ., Bd. 122, S. 37, 1852. — [8]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 329, 1863.

von Stöhrer[1]) und Siemens[2]) mit magnetoelektrischen Maschinen als Triebwerk verbunden, wodurch sie bald zu hoher Ausbildung gelangten. Sie haben besonders in der Geschichte des Eisenbahnwesens eine wichtige Rolle gespielt und stehen in Frankreich und Belgien selbst jetzt noch in Verwendung. Die chemischen Telegraphen, mit denen sich vor E. Davy auch schon Professor Coxe 1810,[3]) sowie Morse vielfach beschäftigt hatten,[4]) wurden zuerst von Bain 1842 in praktisch brauchbarer Form construirt.[5]) Durch Bakewell 1847,[6]) Gintl 1853[7]) und Caselli 1856 bis 1864[8]) sind dieselben zu grosser Vollkommenheit gebracht worden, doch haben sie in der Praxis wenig Verwendung gefunden. Denn alle anderen Systeme wurden allmählich durch den Schreibapparat Morse's und dessen zahlreiche Modificationen verdrängt, von welchen namentlich die Farbschreiber von John und Digney[9]) und von Siemens und Halske[10]) erwähnenswerth sind. Der Wunsch, die Buchstaben direct durch Lettern zu drucken, hatte schon 1837 den Compagnon Morse's, Alfred Vail, zum Versuche veranlasst, einen sogenannten Typendrucktelegraphen zu construiren.[11]) Mit der gleichen Aufgabe beschäftigten sich 1841 Wheatstone,[12]) 1843 Bain,[13])

---

[1]) Brix Zeitschrift d. öst. Telegr.-Ver., Bd. 2, S. 193, 1856. — [2]) Schellen, Elektrische Telegraphie, Seite 381, 1867. — [3]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 47, 1853. — [4]) Brix Zeitschrift, Bd. 1, S. 193, 1855. — [5]) Dingler Journ., Bd. 105, S. 231, 1848 u. Bd. 117, S. 40, 1851. — [6]) Mech. Mag., S. 544, 1850. — [7]) Brix Zeitschr., Bd. 1, S. 4, 1855. — [8]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 563, 1867. — [9]) Brix Zeitschr., Bd. 6, S. 5, 1860. — [10]) Brix Zeitschr., Bd. 6, S. 160, 1860. — [11]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 523, 1867. — [12]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 523, 1867. — [13]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 70, 1853.

1847 Morse,[1]) 1850 Siemens[2]) u. s. w., bis endlich im Jahre 1855 David Edwin Hughes, geboren 1831 in London, den Apparat in so grosser Vollkommenheit construirte, dass er seither dem Morse-Apparat mit Erfolg den Rang streitig macht.[3])

167. Es würde hier zu weit führen, auf die geschichtliche Entwicklung des Telegraphenwesens noch näher einzugehen. So mögen denn blos einige Hauptthatsachen erwähnt werden, welche besonderes Interesse verdienen. Der erste Telegraph mit regelmässigem Betrieb wurde auf dem europäischen Continente 1844 von Fardelly auf der Taunusbahn zwischen Kassel und Wiesbaden eingerichtet.[4]) In demselben Jahre wurde der Telegraph zum erstenmal dem Publicum gegen Gebühren zur Benützung überlassen, und zwar geschah dies von Seite der London-South-Western-Eisenbahn-Gesellschaft, und bald darauf wurde auch der letzte noch bestehende optische Staatstelegraph von der englischen Regierung aufgehoben.[5]) Von diesem Jahre ist also der Aufschwung des Telegraphenwesens als eines der mächtigsten Verkehrsmittel zu datiren. Bereits 1840 war von Wheatstone die telegraphische Verbindung zwischen Frankreich und England und ebenso 1842 von Morse jene zwischen Europa und Amerika auf das eifrigste befürwortet worden. Aber erst nachdem kleinere Strecken, z. B. Dover und Calais im Jahre 1851,[6]) durch unterseeische Kabel verbunden worden waren, gelang es nach

[1]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 523, 1867. — [2]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 443, 1863. — [3]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 525, 1867. — [4]) Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnw., S. 91, 1845. — [5]) M. M. v. Weber, Signal- u. Telegraphenwesen d. Eisenbahnen, 1867. — [6]) Becquerel, Hist. de l'électr., S. 286, 1858.

mehreren vergeblichen Versuchen im Juli 1866 eine Telegraphenlinie zwischen Irland und Amerika herzustellen, welche am 4. August desselben Jahres der allgemeinen Benützung übergeben wurde. [1])

Von den mannigfachen Problemen, welche der rasch und mächtig anwachsende Verkehr im Telegraphenwesen hervorrief, sind besonders jene Versuche zu erwähnen, welche die Anzahl der Drähte zwischen belebteren Stationen dadurch zu vermindern streben, dass gleichzeitig auf demselben Draht mehrere Depeschen in gleicher oder entgegengesetzter Richtung befördert werden, die sogenannte Duplex- und Multiplex-Telegraphie. Der österreichische Telegraphen-Director Wilhelm Gintl, 1804 bis 1883, ist zuerst in dieser Richtung thätig gewesen.[2]) Es gelang ihm, durch Construction eines passenden chemischen Apparates zum Gegensprechen auf der Strecke Wien—Prag im Juli 1853 ziemlich befriedigende Resultate zu erzielen. Diesem folgte 1855 die praktische Ausführung des Doppelsprechens, d. h. der gleichzeitigen Beförderung mehrerer Depeschen in derselben Richtung in der Art, dass die Strompausen zwischen den Zeichen der einen zur Uebermittlung der anderen ausgenützt werden. In dieser letzteren Beziehung waren übrigens schon 1851 von Newton[3]) Vorschläge gemacht worden. Es folgten hierauf Gegensprechapparate 1854 von Siemens und von Frischen in Hannover,[4]) 1863 von Maron,[5]) 1872 von Stearns[6]) u. s. w., während Doppelsprech-

[1]) Urbanitzky, Elektr., S. 1002, 1884. — [2]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 597, 1867. — [3]) Sack, Verkehrstelegr., S. 257, 1883. — [4]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 602, 1867. — [5]) Sack, Verkehrstelegr., S. 231, 1883. — [6]) Sack, Verkehrstelegr., S. 232, 1883.

apparate 1855 von Stark,[1]) von Bosscha[2]) und von Kramer[3]) angegeben wurden. Die beiden erstgenannten suchten auch beide Methoden miteinander zu verbinden.[4]) Ein vielversprechender Multiplexapparat aus neuerer Zeit rührt von Bernhard Meyer her und ist von diesem in seiner ersten Gestalt im Jahre 1871 construirt worden.[5])

168. Der elektrische Telegraph ist neben der Depeschenbeförderung noch manch anderen Zwecken dienstbar gemacht worden. Vor Allem ist seine Entwicklung mit der des Signalwesens auf Eisenbahnen auf das innigste verknüpft gewesen. Es wurde schon erwähnt, dass Cooke bei Ausbildung seiner Apparate hauptsächlich die Sicherheit der Eisenbahnzüge im Auge hatte und dass es auch gerade die Eisenbahnen waren, bei welchen die praktische Brauchbarkeit der ersten Erfindungen erprobt worden ist. Auf die Haus- und Hoteltelegraphen, die automatischen Feuermelder und die mannigfachen anderen selbstthätigen Sicherheitsapparate möge nur vorübergehend hingewiesen werden. Von besonderer Bedeutung ist die Anwendung des Telegraphen zur Zeitangabe. Das Problem, durch eine Normaluhr mehrere von einander beliebig entfernte Zeigerwerke in gleichmässige Bewegung zu versetzen oder Uhren mit selbständigem Triebwerk zu reguliren, wurde zuerst im September 1839 von Steinheil erfasst.[6]) 1840 folgten ihm Wheatstone[7]) und

---

[1]) Brix Zeitschr., Bd. 2, S. 220, 1856. — [2]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 480, 1863. — [3]) Brix Zeitschr., Bd. 3, S. 4, 1857. [4]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 626, 1867. — [5]) Sack, Verkehrstelegr., S. 259, 1883. — [6]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 254, 1863. — [7]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 723, 1867.

Bain,[1]) später Garnier,[2]) Breguet,[3]) Siemens und Halske,[4]) Barraud und Lund[5]) u. s. w. Eine andere Aufgabe stellen sich die sogenannten elektrischen Uhren, bei welchen der Elektromagnetismus selbst als bewegende Kraft einer Uhr verwendet wird. Solche Uhren sind zuerst 1835 von Bain,[6]) darauf von Weare,[7]) Liais,[8]) Kramer,[9]) Houdin und Detouche,[10]) Hipp[11]) und Anderen construirt worden. Chronoskope, d. h. Apparate, durch welche die Dauer einer bestimmten Zeit auf elektrischem Wege gemessen wird, sind namentlich von Wheatstone,[12]) Bréguet,[13]) Hipp,[14]) Siemens[15]) und Anderen angegeben worden.

169. In demselben Jahre 1837, in welchem Morse den ersten Versuch mit seinem Drucktelegraphen unternahm, wurde von Page in Baltimore eine Entdeckung gemacht, welche für die Vermittlung von Nachrichten in die Ferne später von ungeahnter Bedeutung werden sollte.[16]) Wenn der Eisenstab eines Elektromagnets durch rasch aufeinanderfolgende Ströme periodisch magnetisirt wird, beginnt er zu tönen. Namentlich von Marrian 1844[17])

---

[1]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 724, 1867. — [2]) Dingler Journ., Bd. 140, S. 423, 1856. — [3]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 100, 1853. — [4]) Schellen, Elektr. Telegraph., S. 731, 1867. — [5]) Urbanitzky, Elektr., S. 1062, 1884. — [6]) Mech. Mag., S. 139, 1835. — [7]) Dingler Journ., Bd. 108, S. 256, 1848. — [8]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 108, 1853. — [9]) Dub, Anw. d. Elektromagn., S. 543, 1863. — [10]) Schellen, Elektr. Telegr., S. 739, 1867. — [11]) Urbanitzky, Elektr., S. 1064, 1884. — [12]) Pogg. Ann., Bd. 65, S. 451, 1845. — [13]) Compt. rend., Bd. 20, S. 157, 1845. — [14]) Dingler Journ., Bd. 114, S. 255, 1850. — [15]) Pogg. Ann., Bd. 66, S. 435, 1845. — [16]) Pogg. Ann., Bd. 43, S. 411, 1838. — [17]) Pogg. Ann., Bd. 63, S. 530, 1844.

und Wertheim 1848[1]) wurden diese und verwandte Erscheinungen eingehend untersucht. Es zeigte sich

Fig. 57.

Philipp Reis.

dabei, dass bei genügender Schnelligkeit der Stromunterbrechungen der durch Längenveränderungen des Stabes erzeugte Longitudinalton durch einen anderen Ton ver-

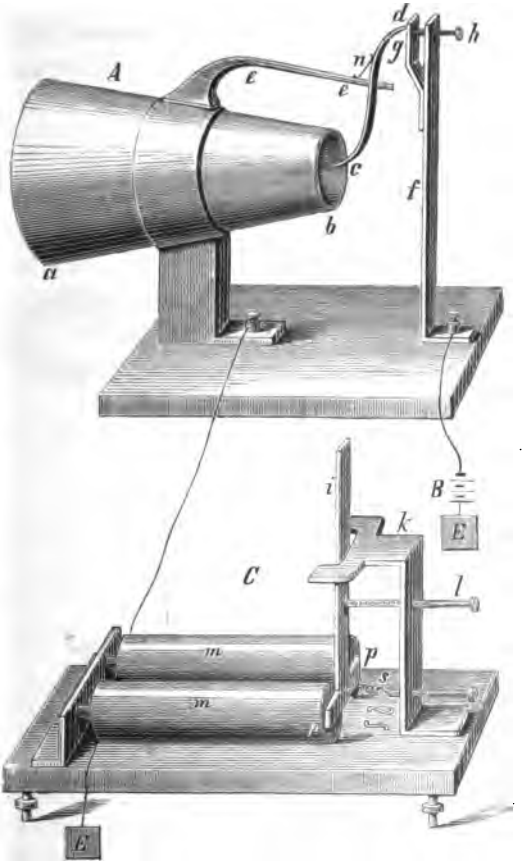
[1]) Pogg. Ann., Bd. 77, S. 43, 1849.

einer Batterie in Verbindung, so dass durch ihre Berührung der Stromschluss bewerkstelligt wurde. Dem so beschaffenen Sender gab Reis zuerst die Form eines Ohrs (Fig. 58). Später stellte er die Membran *m* in die Höhlung eines Holzkästchens *A*, welches seitlich mit einem Mundstück *S* versehen war; mit dem einen Leitungsdraht *b* war ein fester Platinstift leitend verbunden, welchem gegenüber gerade in der Mitte der Membran ein Scheibchen *s* aus demselben Metall befestigt war, das durch einen Platinstreifen mit dem zweiten Leitungsdraht *n* in Verbindung stand. Dieser Apparat, dessen oberer Theil *D* in der Zeichnung auch separat dargestellt ist (Fig. 59), wurde von Reis am 4. Juli 1863 dem Physikalischen Verein zu Frankfurt a. M. vorgezeigt, nachdem er einen ähnlichen, jedoch primitiveren schon am 26. October 1861 derselben Gesellschaft demonstrirt hatte.[1]) Später erhielt dieses „Telephon" noch eine andere, wesentlich modificirte Gestalt (Fig. 60). Die Membran war nunmehr direct an der Oeffnung eines Schalltrichters *A* angebracht. Um ihre Schwingungen möglichst wenig zu dämpfen, war das an ihr befestigte Platinscheibchen durch eine geschweifte Feder ersetzt, deren unteres Ende *c* der Mitte der Membran und deren oberes *g* einem ebenfalls federnden Metallstück gegenübergestellt war. Auch der Empfangsapparat war wesentlich verändert, indem dem Elektromagneten ein pendelartiger Anker *p* beigegeben war, der, in seinen Bewegungen durch eine Feder und eine Schraube regulirt, durch den wechselnden Magnetismus in rasche Schwingungen gerieth und durch seine Schläge den entsprechenden Ton bedeutend stärker als bei der früheren Einrichtung reproducirte. Mit diesem Apparat gelang es

[1]) Jahresber. d. Phys. Ver. zu Frankfurt, 1860 u. 1861.

nicht nur Melodien, sondern bis zu einem gewissen

Fig. 60.



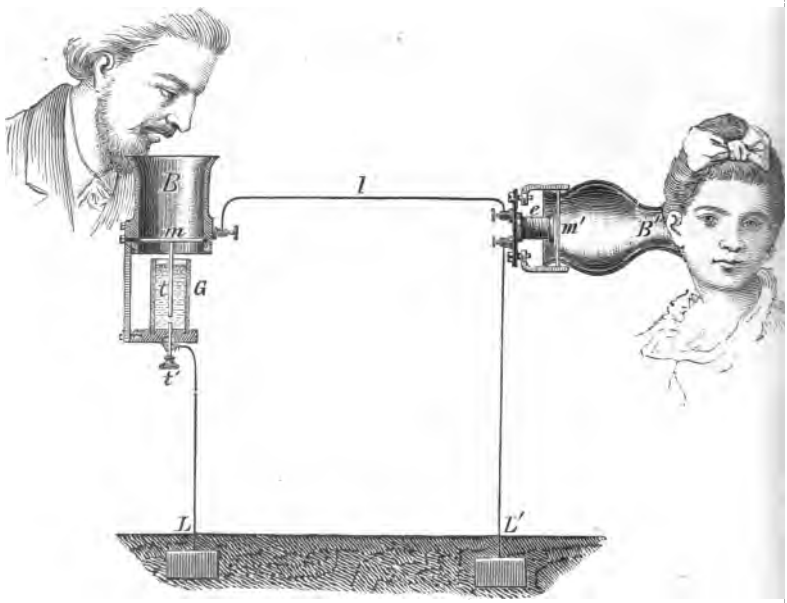
Verbessertes Reis'sches Telephon.

Grade auch Worte in die Ferne zu übertragen.[1])

[1]) Schwartze, Telephon, S. 48, 1883.

170. Der Apparat von Reis wurde zunächst 1865 von S. Yates in Dublin verbessert, indem er zwischen das Metallplättchen auf der Membran und den Contactstift einen Tropfen angesäuerten Wassers brachte, so

Fig. 61.



Telephon von E. Gray.

dass dadurch die vollständigen Unterbrechungen des Stromes in blosse Intensitätsschwankungen desselben entsprechend den Aenderungen des Widerstandes übergeführt wurden. Dieses Telephon soll auch gesprochene Worte ziemlich vernehmlich mitgetheilt haben.[1]) Auf

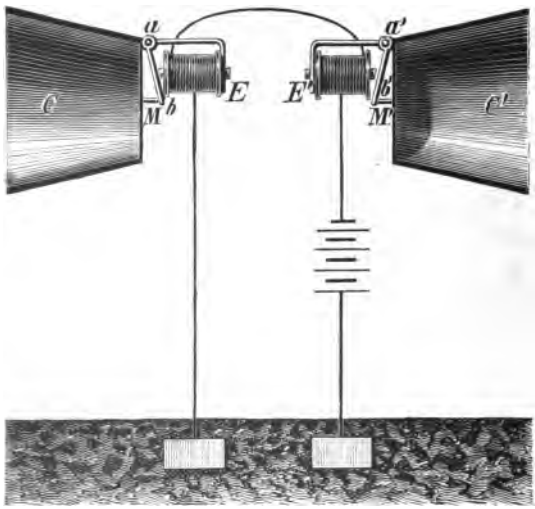
[1]) Schwartze, Telephon, S. 50, 1883.

demselben Principe beruht ein Apparat, welcher 1874 von Elisha Gray ersonnen wurde (Fig. 61).[1]) Bei diesem ist in der Mitte der Membran ein Metallstab *t* befestigt, welchem in einer schlecht leitenden Flüssigkeit ein anderer Stift *t'* gegenübersteht. Durch die Schwingungen der Membran wird die Länge der zwischenliegenden Flüssigkeitssäule und damit der Widerstand der Leitung verändert, es werden dadurch nach Bell's Bezeichnung sogenannte Impulsionströme inducirt an Stelle der intermittirenden Ströme von Reis. Der Empfänger besitzt hier ebenfalls eine Membran *m'*, deren Mitte ein Eisenplättchen trägt, welches durch den gegenüberliegenden Elektromagneten *e* angezogen werden kann. Doch bevor noch Gray's Telephon bekannt wurde, war schon der letzte Schritt zur Vervollkommnung des Apparats vom Taubstummenlehrer Graham Bell in Boston 1875 unternommen worden, indem er anstatt der plötzlichen Intensitätsänderungen allmählich verlaufende wellenförmige Ströme zur Anwendung brachte, welche sich allen Arten von Schwingungen vollständig anschmiegen. Er bewirkte dies dadurch, dass er als Membran *M* ein Goldblättchen gebrauchte, mit welchem der leichte Eisenanker *a b* eines Elektromagnets *E* um eine Axe *a* drehbar verbunden war (Fig. 62). Der Empfangsapparat war durchaus identisch eingerichtet, so dass die durch die Schwingungen der angesprochenen Membran erzeugten Ströme die entsprechenden Schwingungen in der Membran des Empfangsapparates hervorriefen, welche nun ihrerseits die gleichen Töne erregen mussten. Genau betrachtet unterscheidet sich dieser Apparat von jenem Gray's mithin principiell nur dadurch, dass der Em-

[1]) Urbanitzky, Elektr., S. 888, 1884.

pfänger des letzteren in diesem als Sender fungirt. Hierin ist aber gerade der grosse Vortheil des Bell'schen Telephons begründet, indem es durch die undulirenden Ströme auch die Klangfarbe der Töne zu übertragen vermag. In dieser Gestalt wurde der Apparat am 14. Februar

Fig. 62.



Bell's Telephon in der ursprünglichen Gestalt.

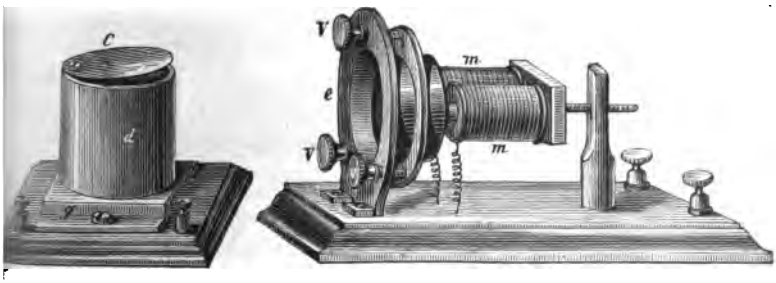
1876 gleichzeitig mit dem Gray'schen zur Patentirung angemeldet.[1])

171. Bell fühlte sich von seiner Erfindung zu wenig befriedigt und so wurde die Form derselben von ihm mehrmals abgeändert. Zunächst befestigte er den Elektro-

[1]) Urbanitzky, Elektr., S. 887, 1884.

magnet des Senders *m* mit dem als Mundstück dienenden Metallring *e* auf einem Brettchen und benützte als Anker ein in der Mitte der Membran angebrachtes Plättchen aus weichem Eisen. Der Empfänger war davon insoweit verschieden, als der Elektromagnet von einem eisernen Gehäuse *d* umgeben war, dessen einseitig befestigter Deckel *C* die Stelle des Ankers vertrat. Eine unter dem Gehäuse befindliche Resonanzbrücke *g* sollte zur Verstärkung der Töne dienen. In dieser Form (Fig. 63)

Fig. 63.



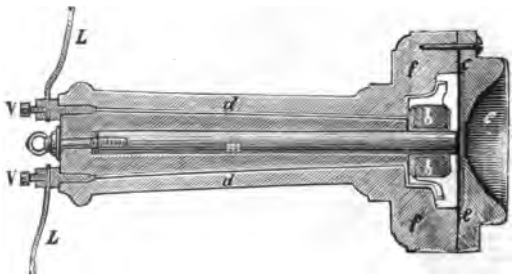
Bell's Telephon in der späteren Form.

wurde Bell's Telephon auf der Ausstellung zu Philadelphia 1876 dem grösseren Publicum zuerst bekannt.[1]) Im Laufe des nächstfolgenden Jahres erhielt es schon seine vollendete Gestalt (Fig. 64), indem der Sender und der Empfänger wieder eine völlig identische Einrichtung erhielten. In einer länglichen Holzfassung liegt ein kräftiger Stahlmagnet *m*, der an dem einen Ende in die Inductionsrolle *b* hineinragt, von welcher die Leitungsdrähte *d* parallel zum Magnet durch die Holzfassung ge-

[1]) Schwartze, Telephon, S. 87, 1883.

führt sind; auf derselben Seite befindet sich auch die aus dünnem Eisenblech bestehende Membrane *c* und eine trichterähnliche Schallöffnung *e*. Die Wirkungsweise des Apparates bedarf wohl keiner weiteren Erklärung.[1]) Bell's Telephon erhielt rasch eine ausserordentliche Verbreitung. Namentlich von Siemens,[2]) Gower[3]) und Ader[4]) ist es verbessert worden. Auf einem anderen Princip beruht das sogenannte Kohlentelephon von Edison, indem bei diesem ein Batteriestrom durch die Aenderungen des

Fig. 64.



Bell's Telephon in der jetzigen Gestalt.

Druckes, welchen die Membran während ihrer Schwingungen auf eine Kohlenplatte ausübt, und durch die dadurch bewirkten Widerstandsänderungen in undulirende Schwingungen geräth.[5]) Von Hughes wurde diese 1856 von Th. du Moncel entdeckte[6]) Eigenschaft der Kohle, ihren Widerstand in genauer Uebereinstimmung mit dem Druck zu ändern, 1877 zur Erfindung des Mikrophons

[1]) Schwartze, Telephon, S. 91, 1883. — [2]) Wiedemann Ann., Bd. 4, S. 485, 1878. — [3]) Schwartze, Telephon, S. 100, 1883. — [4]) Schwartze, Telephon, S. 102, 1883. — [5]) Schwartze, Telephon, S. 119, 1883. — [6]) Urbanitzky, Elektr., S. 890, 1884.

benützt.[1]) Fast gleichzeitig machten Berliner in Boston und Lüdtge in Berlin die gleiche Erfindung.[2]) Durch sie wurde erst die Aufgabe gelöst, telephonische Uebertragungen in grössere Entfernungen vorzunehmen. Auch hierin sind von Locht de Labye, von Blake, Crossley, Ader und Anderen Verbesserungen versucht worden.[3]) Das 1873 von May in Valencia[4]) entdeckte Verhalten des Selens, bei verschiedener Intensität der Beleuchtung das elektrische Leitungsvermögen zu ändern, hat endlich Bell im Jahre 1880 zur Construction des sogenannten Photophons veranlasst, durch welches die Uebertragung von Tönen mittelst Lichtstrahlen auf telephonischem Wege bewirkt wird.[5]) Die zahlreichen Anwendungen des Telephons namentlich zur Bestimmung elektrischer Leitungswiderstände,[6]) für die Doppeltelegraphie,[7]) zu ärztlichen Zwecken, z. B. um Pulsschläge, Muskelgeräusche und die Feinheit des Gehörs zu untersuchen,[8]) die vielen auf seine Benützung gegründeten Apparate, wie besonders die höchst schätzbare Inductionswage von Hughes[9]) mögen hier nur noch dem Namen nach erwähnt werden.

---

[1]) Schwartze, Telephon, S. 148, 1883. — [2]) Schwartze, Telephon, S. 152, 1883. — [3]) Schwartze, Telephon, S. 165, 1883. — [4]) Elektrotechn. Zeitschrift, Bd. 2, S. 95, 1881. — [5]) Urbanitzky, Elektr., S. 971, 1884. — [6]) Monatsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, S. 278, 1879. — [7]) Elektrotechn. Zeitschr., Bd. 3, S. 244, 1882. — [8]) Urbanitzky, Elektr., S. 967, 1884. — [9]) Compt. rend., Bd. 87, S. 1079, 1878 u. Bd. 88, S. 122, 1879.

Elftes Capitel.

Die chemischen, physiologischen, thermischen und optischen Wirkungen des galvanischen Stromes in ihrer praktischen Anwendung.

172. Zu derselben Zeit, in welcher die Elektricität in Gestalt der Telegraphie in das praktische Leben übertrat, wurden durch die Erfindung der constanten Elemente auch ihre chemischen Wirkungen nutzbar gemacht. Das Beispiel und die ausdauernden Bemühungen A. C. Becquerel's waren hier bahnbrechend, welcher vor Allem auf die Vortheile der Ausscheidung von Metallen aus ihren Verbindungen durch schwache elektrische Ströme hinwies.[1]) Dadurch wurde zunächst Auguste de la Rive zu Versuchen veranlasst, dieselbe praktisch verwerthbar zu machen. Schon 1805 hatte Brugnatelli silberne Münzen galvanisch vergoldet.[2]) 1840 gelang es de la Rive auf dem gleichen Wege, auch auf Kupfer und Messing dünne Niederschläge von Gold zu erhalten.[3]) Indessen liessen seine Resultate noch ziemlich viel zu wünschen übrig. Mit unermüdlichem Eifer griff aber nun Ruolz die Sache auf und durch eine Reihe zahlreicher Versuche brachte er es noch in demselben Jahre dahin, das allgemeine Problem der galvanischen Abscheidung von Metallen auf beliebige andere zu lösen.[4]) In einer Denkschrift, die er am 9. August 1841 der Akademie der Wissenschaften zu Paris überreichte, setzte er seine Methoden und Resultate auseinander und durch einen ausführlichen Be-

[1]) Compt. rend., Bd. 2, S. 230, 1836. — [2]) Phil. Mag., Bd. 21, S. 187, 1805. — [3]) Compt. rend., Bd. 10, S. 578, 1840. — [4]) Compt. rend., Bd. 3, S. 998, 1841.

richt, den bald darauf Dumas über dieselben erstattete, wurde der neuen Errungenschaft die Einführung in die Industrie gesichert.[1]) Christofle gründete sogleich in Paris eines der ausgedehntesten Etablissements.[2]) Ihm folgten 1844 die Brüder Elkington und Mason in Birmingham[3]) und seit dieser Zeit hat sich die Galvanostegie zu ihrer bedeutenden Höhe entwickelt. Auch die prachtvolle, regenbogenartige elektrochemische Färbung, welche Nobili im Jahre 1826 entdeckt hatte,[4]) wurde von A. C. Becquerel mit grossem Erfolge für die Praxis nutzbar gemacht.[5])

173. Gleichzeitig gelangten Jacobi und Spencer zu der wichtigen Erfindung der Galvanoplastik. Schon Daniell war bei den ersten Versuchen mit seiner Batterie die Thatsache aufgefallen, dass das am negativen Pol ausgeschiedene Kupfer ein treues Abbild der metallischen Elektrode liefert.[6]) Die gleiche Bemerkung wurde 1837 von de la Rive gemacht.[7]) Sie schenkten dieser Erscheinung indessen nur geringe Beachtung. Dasselbe war auch mit Wach der Fall.[8]) Erst Moritz Hermann Jacobi, geboren 21. September 1801, gestorben 27. Februar 1874, kam im Februar 1837 auf den Gedanken, diese Beobachtungen zum Abdrucke von Buchstaben und Figuren zu verwenden;[9]) ihm folgte im September Spencer in Liverpool selbständig mit derselben Erfindung.[10]) Sie bemerkten

---

[1]) Compt. rend., Bd. 3, S. 1104, 1841. — [2]) Aus der Natur, S. 65, 1852. — [3]) Aus der Natur, S. 99, 1852. — [4]) Pogg. Ann., Bd. 9, S. 183, 1826 und Bd. 10, S. 392, 1827. — [5]) Compt. rend., Bd. 17, S. 1 und 53, 1843; Bd. 18, S. 197, 1844. — [6]) Phil. Mag., Bd. 11, S. 274, 1838. — [7]) Pogg. Ann., Bd. 42, S. 272, 1837. — [8]) Schweigger Journ., Bd. 58, S. 20, 1830. — [9]) Jacobi, Galvanoplastik, 1840. — [10]) Sturgeon Ann., Bd. 4, S. 238, 1839.

bald beide, dass ein Ueberzug mit gepulvertem Graphit auch Körper, welche nicht zu den elektrischen Leitern gehören, zu galvanoplastischen Abdrücken tauglich mache. Mit raschen Fortschritten folgte nun eine Erfindung auf die andere. Böttger wandte das neue Verfahren zur Reproduction von Kupferstichen an,[1]) Kobell benützte dasselbe, um Zeichnungen und Gemälde galvanoplastisch darzustellen,[2]) Grove bemühte sich, Photographien auf dem gleichen Wege zu vervielfältigen[3]) u. s. w. In der neueren Zeit sind die chemischen Wirkungen der Elektricität in der elektrolytischen Analyse, bei der Reinmetallgewinnung, zur Rectification des Alkohols, in der Färberei und in mannigfachen anderen Zweigen der Industrie mit grossem Erfolge zur Anwendung gebracht worden.

174. Die Entdeckung der Inductionsströme mit ihren kräftigen physiologischen Wirkungen rief auch auf jenem Gebiete einen Umschwung hervor, welches seit Volta's entscheidenden Versuchen mit Unrecht fast ganz vernachlässigt worden war. Zwar hatte schon Galvani gezeigt, dass ein Froschschenkel auch durch die einfache Berührung von Nerv und Muskel in Zuckungen geräth. Volta hatte aber die Verschiedenheit der beiden Berührungsstellen für die Ursache der Erscheinung erklärt und durch seine Autorität die Meinung Galvani's völlig zurückgedrängt. Erst nach einer ziemlich grossen Pause wurden die diesbezüglichen Untersuchungen von verschiedenen Seiten wieder aufgenommen und Nobili gelang es mit seinem empfindlichen Multiplicator 1827

---

[1]) Pogg. Ann., Bd. 54, S. 300, 1841. — [2]) Kobell, Galvanographie, 1842. — [3]) Phil. Mag., Bd. 19, S. 247 u. Bd. 20, S. 24, 1842.

in der That elektrische Ströme nachzuweisen, wenn er die Enden eines präparirten Froschschenkels in Wassergläser tauchte, die durch einen Faden verbunden waren.[1]) Er hielt dieselben indessen für thermoelektrischen Ursprungs, weil die Nerven wegen ihrer geringeren Masse im Verhältniss zu den Muskeln durch Verdunstung rascher abgekühlt würden. Matteucci zeigte jedoch, dass dies nicht der Fall sei, dass aber auch ebensowenig chemische Kräfte dabei wirksam seien und dass die Verbindung von irgend zwei beliebigen Punkten in der Längsrichtung eines Muskels einen elektrischen Strom zur Folge habe.[2]) Von Professor Emil Du Bois-Reymond, geboren 7. November 1818, wurde darauf in den Jahren 1841 bis 1848 durch eine lange Reihe gründlicher Versuche die Existenz von eigenthümlichen Strömen in den Muskeln, Nerven und verschiedenen Geweben der thierischen Körper über allen Zweifel erhoben, die Gesetze derselben und ihrer Veränderungen durch Thätigkeitsäusserungen, sowie durch Ströme, welche von aussen hinzutreten, in genauer Weise ermittelt und der von Nobili beobachtete „Froschstrom" als Resultat einer Summe zahlreicher Einzelströme festgestellt.[3]) Damit erhielt die Lehre von der sogenannten „thierischen Elektricität" eine wissenschaftliche Basis, auf welcher Du Bois-Reymond's Schüler Pflüger, Heidenhayn, J. Rosenthal, v. Betzold und Andere erfolgreich fortarbeiten konnten.[4])

---

[1]) Ann. de Chim. et de Phys., Bd. 38, S. 225, 1828 u. Bd. 44, S. 60, 1830. — [2]) Du Bois-Reymond, Untersuchungen üb. d. thier. Elektr., Bd. 1, S. 125, 1848. — [3]) Du Bois-Reymond, Untersuchungen üb. d. thier. Elektr., 1848 u. 1849. — [4]) M. Meyer, Elektr. in Anw. auf prakt. Medicin, S. 43, 1868.

175. Gleichzeitig kam die Anwendung der Elektricität für medicinische Zwecke zu neuen Ehren. In der ersten Begeisterung über Galvani's Entdeckung hatte man in den elektrischen Strömen ein Heilmittel der wunderbarsten Art zu besitzen geglaubt.[1]) Pfaff, Alexander von Humboldt und Andere empfahlen dasselbe namentlich für Lähmungen, Valli schlug die galvanische Erregung zur Erkennung des Scheintodes vor, worin er besonders in Hufeland und Sömmering die eifrigsten Anhänger fand. Diese Bewegung steigerte sich nach Erfindung der Säule.[2]) Loder in Jena, Grapengiesser in Berlin, Hallé in Paris machten von derselben zu Heilzwecken einen grossen Gebrauch. Selbst die Melancholie wollte Gentili durch elektrische Ströme zur Heilung gebracht haben. Während Humboldt 1797 die eingehendsten Versuche über den Einfluss des Galvanismus auf den menschlichen Körper an sich selbst anstellte, benützten Aldini und Bichat 1802 zuerst die Leichen von frisch Hingerichteten. Indess trat auch hier bald ein Rückschlag ein. Man erkannte die Nutzlosigkeit vieler Bemühungen und ging von der Anwendung der elektrischen Ströme zu Heilzwecken fast allgemein wieder ab. Erst mit der Erfindung der Inductionsapparate entstand in diesem Zweige der Medicin ein neues Leben. Namentlich Marshall Hall, Golding Bird, Duchenne,[3]) Heidenhayn, Ziemssen,[4]) Rosenthal[5]) und Andere wandten sich mit Erfolg der therapeutischen Anwendung

[1]) Aldini, Essay théor. et. expér. sur le galvan., 1804. — [2]) M. Meyer, Elektr. in Anw. auf prakt. Medicin, S. 2, 1868. — [3]) Duchenne, L'électrisation localisée, 3. Aufl., 1872. — [4]) Ziemssen, Elektr. in d. Med., 3. Aufl., 1866. — [5]) Rosenthal, Elektrotherapie, 2. Aufl., 1872.

der Inductionsströme zu, Pravaz und Listern machten die ersten Versuche, Aneurismen durch Galvanopunctur zu heilen,[1]) Bertani und Milani thaten dasselbe bei Varicen, Radford, Frank u. s. w. benützten die Elektricität in der Geburtshilfe und durch Robert Remak wurde endlich in den Jahren 1861 bis 1868 auch der constante Strom in die medicinische Praxis eingebürgert.[2]) Die bedeutenden Wärmewirkungen des Stromes wurden namentlich durch Crussel, Middeldorpf[3]) und Andere chirurgischen Zwecken dienstbar gemacht, das gleiche geschah mit den chemischen Wirkungen, und besonders Duchenne bildete die Anwendung der inducirten Ströme zu einem wichtigen diagnostischen Hilfsmittel aus.[4])

176. Die Wärmewirkung des galvanischen Stromes war schon 1812 von Schilling zum Zünden von Pulverminen benützt worden.[5]) In der Folgezeit fand diese Methode namentlich zum Sprengen unter Wasser Verwendung. Die Umständlichkeit beim Gebrauche entsprechend grosser Batterien und die Schwierigkeit, mehrere Ladungen zugleich zu entzünden, liessen jedoch die Zündung durch Batterieströme keinen grossen praktischen Werth erlangen. Die bedeutendste Leistung in dieser Beziehung ist wohl die Sprengung des Hellgate bei New-York durch Striedinger und Dörflinger, bei welcher nicht weniger als 3680 Zünder durch 23 starke Chromsäure-Batterien gleichzeitig zur Detonation gebracht wurden.[6]) Auch hier war die Entdeckung der

---

[1]) M. Meyer, Elektr. in Anw. auf prakt. Med., 3. Aufl., 1868. — [2]) Remak, Applic. du courant const., 1865. — [3]) Middeldorpf, Galvanocaustik, 1854. — [4]) Duchenne, L'électrisation localisée, 2. Aufl., 1861. — [5]) Urbanitzky, Elektr., S. 999, 1884. — [6]) Hess, Naturwiss. im Dienst d. Kriegs, S. 193, 1878.

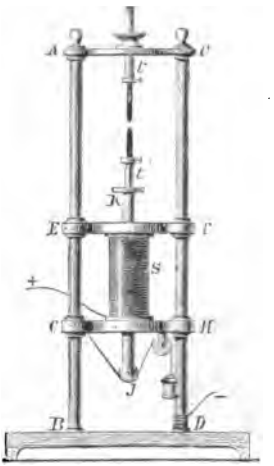
Bemühungen gelang es ihm, ein vollständiges System der elektrischen Beleuchtung auszuarbeiten, durch welches er für diesen Zweig der Technik bahnbrechend wurde.[1]) Nach ihm sind namentlich 1880 Swan, 1881 Maxim und Andere erfolgreich mit Constructionen von Glühlichtlampen hervorgetreten.[2])

178. Gleichzeitig erlangte auch die Verwendung des elektrischen Bogenlichtes zu Beleuchtungszwecken eine hohe Stufe der Vollendung. Leon Foucault machte hiermit 1844 den Anfang.[3]) An Stelle der von Davy gebrauchten Holzkohle nahm er die widerstandsfähigere Retortenkohle. Die Stellung der Kohlen wurde mit der Hand regulirt. Versuche, die Deleuil darauf in Paris öffentlich anstellte, lenkten die Aufmerksamkeit des Publicums zuerst auf diese neue Beleuchtungsmethode. Es folgte nun rasch eine grosse Anzahl von Constructionen aufeinander. Wright suchte 1845 die Entfernung der Kohlen von einander durch Anwendung von rotirenden Kohlenscheiben constant zu erhalten,[4]) Staite liess 1846 zuerst die Kohlenstäbe durch Spiralfedern einander nahe schieben, bis er in dem nächstfolgenden Jahre darauf verfiel, den Strom selbst zu diesem Zwecke zu benützen.[5]) Damit gewann die elektrische Beleuchtung erst praktische Bedeutung. Der erste brauchbare Regulator (Fig. 66) wurde 1848 von Archereau construirt. Derselbe beruht darauf, dass der Strom in spiralförmigen Windungen *S* um ein Kupferrohr geleitet wird, in welchem ein Eisenstab *J K* durch eine Schnur gehalten wird. Aus der Spirale geht der

[1]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 654, 1884. — [2]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 669, 1884. — [3]) Compt. rend., Bd. 18, S. 696, 1844 — [4]) Dingler Journ., Bd. 106, S. 267, 1848. — [5]) Dingler Journ., Bd. 108, S. 344, 1848.

Strom durch den Kupfercylinder und die Eisenstange in die beiden verticalen Kohlenstäbe t', t über, von denen der untere an dem Eisen selbst befestigt ist, während der obere durch den metallischen Ständer CD mit dem zweiten Pol der Batterie in Verbindung steht. Indem die Spirale beim Durchgang des Stromes auf die Eisenstange anziehend wirkt, bewegt sich diese letztere nach abwärts, die Kohlenspitzen werden von einander getrennt und es entsteht ein Lichtbogen. Durch das Abbrennen der Kohlen wird der Widerstand vergrössert, der Strom wird schwächer und die Anziehung des Eisens durch die Spirale nimmt gleichfalls ab; durch das die Schnur spannende Gegengewicht wird der Eisencylinder daher in die Höhe geschoben. Dieses Princip ist für eine grosse Reihe von Regulatoren massgebend gewesen.[1]) Es folgten 1848 Foucault und Duboscq,[2]) 1855 Jaspar,[3]) 1857 Serrin[4]) und Andere, deren Lampen mit mancherlei Abänderungen selbst jetzt noch in Verwendung stehen.

Fig. 66.



Archereau's Regulator.

Mit dem Fortschritt der Construction elektrischer Maschinen und der Vervollkommnung der Lampen erwuchs nun aber ein neues Problem, nämlich die Aufgabe, den

[1]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 192, 1853. — [2]) Du Moncel, Applic. de l'électr., Bd. 1, S. 194, 1853. — [3]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 492, 1884. — [4]) Dingler Journ., Bd. 163, S. 268, 1862.

Strom auf mehrere Lampen derart zu vertheilen, dass sie sich in ihrer Lichtstärke nicht merklich beeinflussen.

Fig. 67.

Paul Jablochkoff.

Die mannigfachen früheren Versuche führten zu keinem brauchbaren Resultat. Es war daher ein grosser Fortschritt, als im Jahre 1876 der ehemalige russische Officier Paul Jablochkoff, geboren 1847 (Fig. 67), mit den nach

ihm benannten elektrischen Kerzen dieses wichtige Problem in der denkbar einfachsten Weise ohne jeden Regulirungsmechanismus löste.[1]) Schon im nächsten Jahre gelang es aber Tschikoleff, auch eine Regulatorlampe für Theilungslicht zu erfinden[2]) und 1879 construirte Hefner-Alteneck endlich die sogenannte Siemens'sche Differentiallampe, welche seither das Vorbild fast aller derartigen Systeme gewesen ist.[3])

[1]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 601, 1884. — [2]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 579, 1884. — [3]) Schellen, Elektr. Maschinen, S. 543, 1884.

Zeittafel.

1600. Gilbert.
1663. Guericke.
1670. Boyle.
1671. Richer, Zitteraal.
1675. Newton; Picard.
1703. Bekanntwerden des Turmalins in Europa.
1707. Bernoulli und Cassini.
1708. Wall.
1709. Hawksbee.
1729. Gray, Leitung der Elektricität.
1731. Bose, Elektrisirmaschine; Gray, Elektricität erstarrter Körper.
1732. Gray, Isolirschemel.
1733. Du Fay.
1739. Desaguliers.
1742. Nollet, Ausströmen hochgespannter Elektricität.
1743. Hausen, Elektrisirmaschine.
1744. Gordon; Waitz, Reibzeug; Bose und Ludolff, Elektrische Zündung.
1745. Kleist und Cunaeus, Verstärkungsflasche; Waitz, Elektroskop; Ludolff, Leuchten von Röhren; Miles, Ausströmen hochgespannter Elektricität.
1746. Gralath, Nollet, Winkler, Wilson und Le Monnier, Kleistsche Flasche; Watson und Wilson, Elektrisirmaschine; Winkler, Wesen des Blitzes; Krüger, Chemische Wirkung der Entladung; Nollet und Maimbray, Wirkung der Entladung auf Thiere und Pflanzen.

1747. Franklin; Watson, Erdleitung; Nollet und Gralath, Elektroskop; Canton, Massflasche; Nollet und Franklin, Wesen des Blitzes; Kratzenstein, Physiologische Wirkung der Entladung und Heilung durch Elektricität; Linné, Turmalin; Gralath, Geschichte der Elektricität.

1748. Watson, Theorie der Elektricität; Elicott, Elektroskop.

1749. Franklin, Theorie der Elektricität, Blitzableiter, Geruch bei Entladungen; Kinnersley, Unterschied beider Elektricitäten.

1750. Franklin, Magnetisirung durch Entladungen; Grummert, Elektrische Beleuchtung.

1751. Watson und Smeaton, Glimmlicht; Canton, Reibzeug; Adanson, Zitteraal.

1752. Dalibard und Delor Gewitterelektricität; Franklin, Elektrischer Drache und Wetterstange; Mazéas, Canton, Wilson, Bevis und Le Monnier, Luftelektricität; Jallabert und Sauvage, Heilungen durch Elektricität.

1753. Romas, Richmann, Canton, Franklin und Mazéas, Luftelektricität; Winkler, Blitzableiter; Canton und Beccaria, Influenz; Nollet, Mechanische Wirkungen der Entladung; Canton, Glimmlicht; Watson, Elmsfeuer; C. M., Telegraph.

1754. Canton, Elektroskop und Abhängigkeit der Elektricität von der Oberfläche; Divisch, Blitzableiter; Hart, Heilung durch Elektricität; Sulzer Berührungselektricität.

1755. Planta, Scheibenelektrisirmaschine.

1756. Aepinus und Wilke, Turmalin.

1757. Wilke, Influenz, Reihe für die Reibungselektricität, Elektricität erstarrter Körper und Glimmlicht.

1758. Canton, Turmalin; Bohadsch und Franklin, Heilung durch Elektricität; Beccaria, Chemische Zersetzung durch Entladungen.

1759. Aepinus und Symmer, Theorie der Elektricität; Aepinus, Influenz; Wilson, Glimmlicht.

1760. Mayer, Gesetz der elektrischen Fernwirkung; Franklin und West, Blitzableiter; Wilson, Art der Elektricität bei der Reibung; Aepinus, Elektricität durch Druck und beim Erstarren; Canton, Topas; Lovet, Heilung durch Elektricität.

1761. Kinnersley, Luftthermometer.

1762. Canton, Reibzeug und Turmalin; Wilke, Theorie der Elektricität und Franklin'sche Tafel; Watson, Blitzableiter.
1763. Nooth, Reibzeug.
1764. Wilson, Blitzableiter; Bergman, Art der Reibungselektricität; Kinnersley, Schmelzen von Drähten.
1765. Cigna, Theorie der Elektricität und Art der Reibungselektricität.
1766. Priestley, Elektrostatisches Grundgesetz, Schmelzen von Metallen, Funkenspectrum, Farbenringe und elektrischer Geruch; Bergman, Turmalin.
1767. Priestley, Geschichte der Elektricität und Elektroskop; Lane, Massflasche; Beccaria, Luftelektricität, Blitzableiter, Theorie der sich selbst wiederherstellenden Elektricität und Schmelzen von Glas, Borax und Metallen.
1768. Wilke, Turmalin.
1769. Robison, Elektrostatisches Grundgesetz; Wilke, Art der Reibungselektricität und Elektricität beim Erstarren; Reimarus, Blitzableiter.
1771. Volta, Gebundene Elektricität; Cavendish, Theorie der Elektrostatik; Saussure, Blitzableiter.
1772. Cavendish, Elektrostatisches Grundgesetz; Henley, Elektroskop; Walsh, Elektrische Fische.
1773. Hunter, Zitteraal.
1774. Lesage, Telegraph.
1775. Volta, Elektrophor; Cavallo, Luftelektricität.
1776. Cavendish, Ladung der Kleist'schen Flasche.
1777. Wilke, Elektrophor; Lichtenberg, Staubfiguren; Wilson, Blitzableiter.
1778. Lichtenberg, Doppelelektrophor; Nairne und Reimarus, Blitzableiter.
1779. Weber, Luftelektrophor; Lichtenberg, Luftelektricität; Mahon, Blitzableiter und elektrischer Rückschlag.
1780. Cavallo, Elektroskop und Elektricität pulverförmiger Körper.
1781. Volta, Elektroskop; Lavoisier und Laplace, Elektricität bei Verdampfung; Cavendish, Bildung von Salpetersäure bei Entladungen.
1782. Volta, Condensator; Laplace, Mathematische Theorie der Anziehung von Körpern.

1785. Coulomb, Drehwage und elektrostatisches Grundgesetz; Marum und Cuthberson, Elektrisirmaschine; Marum und Troostwyk, Chemische Zersetzung durch Entladungen; Saussure, Elektroskop und Luftelektricität.

1786. Marum, Magnetisirung durch Entladungen; Bennet, Elektroskop; Saussure, Elektricität bei Verdampfung und Theorie der Luftelektricität.

1787. Bennet und Volta, Elektroskop; Bennet, Condensator und Duplicator; Lomond und Bétancourt, Telegraph.

1788. Cavallo und Nicholson, Duplicator; Kienmayer, Amalgam; Villarsy, Elektricität pulverförmiger Körper.

1789. Nicholson, Kreiselnder Collector und Elektricität beim Spalten und Zerbrechen; Troostwyk und Deimann, Wasserzersetzung durch Entladungen; Galvani.

1790. Keir, Passivität des Eisens.

1792. Reil und Fabbroni, Theorie des Galvanismus; Robison, Säule.

1793. Volta, Fundamentalversuch, Contacttheorie, Identität des Galvanismus und der Reibungselektricität, Elektricität bei Verdampfung und Theorie der Luftelektricität.

1794. Aldini, Theorie des Galvanismus; Reiser, Telegraph.

1795. Humboldt, Wasserzersetzung durch den Strom.

1796. Boeckmann und Sälva, Telegraph.

1797. Humboldt, Theorie und physiologische Wirkung des Galvanismus; Cavallo und Nicholson, Elektroskop; Swift, Blitzableiter; Cavallo, Heilung durch Elektricität und Telegraph.

1798. Bohnenberger, Duplicator; Salva, Erster elektrischer Telegraph.

1799. Volta, Säule und Tassenapparat.

1800. Volta, Nicholson und Carlisle, Funken bei Schliessung des Stromkreises; Cruikshank, Ladung der Kleist'schen Flasche durch den Strom; Nicholson, Vergleich der Säule mit der elektrischen Batterie; Carlisle und Nicholson, Cruikshank, Davy, Robertson und Ritter, Elektrolyse; Cruikshank, Theorie der Elektrolyse und Zellenapparat; Haldane, Liegende Säule; Robertson, Voltameter; Davy, Theorie des Galvanismus; Volta, Theorie der Elektricität der Krampffische.

1801. Volta, Spannungsreihe, Theorie der Säule und Vergleich der Säule mit der elektrischen Batterie; Biot, Pfaff, Marum

und Erman, Identität des Galvanismus und der Reibungselektricität; Ritter, Oeffnungsfunke der galvanischen Kette; Ritter und Pfaff, Elektrische Anziehung und Abstossung an den Polen der Säule; Ritter, Staubfiguren durch den Strom; Fourcroy, Vauquelin, Thénard und Monge, Theorie der Elektrolyse; Simon, Voltameter; Ritter, Elemente mit Kupfer; Zelle und Lüdicke, Trockene Säulen; Haldane und Ritter, Chemische Theorie; Steffens und Simon, Glühen von Drähten; Simon, Abhängigkeit der Wirkungen von der Grösse der Oberfläche der Säule; Gilbert, Pfaff, Simon, Erman, Curtet und Ritter, Funken der Säule; Biot, Theorie der Elektrostatik: Wollaston, Chemische Zersetzung durch Entladungen.

1802. Erdmann und Bostock, Theorie der Elektrolyse; Wollaston, Parrot, Jäger und Erman, Theorie des Galvanismus; Gautherot, Polarisation; Davy, Galvanische Kette mit zwei Flüssigkeiten; Maréchaux, Voltameter; Ritter, Trockene Säule; Pfaff, Marum und Davy, Erwärmung durch den Strom; Pfaff, Abhängigkeit der Wirkungen von der Grösse der Oberfläche der Säule; Robertson, Funken der Säule; Aldini und Bichat, Versuche an Hingerichteten mit dem Strom; Wollaston, Spectrum des Entladungsfunkens; Libes, Elektricität durch Druck.

1803. Ritter, Ladungssäule; Behrens, Trockene Säule; Saxtorph, Elektroskop.

1804. Maréchaux, Säulenelektroskop und Luftelektricität; Ritter, Spannungsreihe; Aldini, Heilung durch den Strom.

1805. Grotthus, Theorie der Elektrolyse; Volta, Ladungssäule; Ritter, Schüsselapparat; Brugnatelli, Galvanische Vergoldung.

1806. Berzelius und Hisinger, Princip der polaren Zersetzung; Behrens, Säulenelektroskop; Erman, Unipolare Leitung.

1807. Davy, Zersetzung der Alkalien, Theorien der Elektrolyse und des Galvanismus; Erman, Trockene Säulen.

1808. Berzelius und Pontin, Zersetzung der Alkalien; Simon, Elektrometer.

1809. Sömmering, Telegraph.

1810. Wilkinson, Trogapparat; Luc, Trockene Säule; Coxe, Telegraph.

1811. Poisson, Theorie der Elektrostatik.

1812. Berzelius, Theorie der Elektrolyse; Zamboni, Trockene Säulen; Schilling, Galvanische Zündung.

1813. Davy, Galvanischer Lichtbogen; Schübler, Trockene Säule.

1815. Jäger, Bohnenberger und Schweigger, Trockene Säule; Luc, Perpetuum mobile; Wollaston, Trogapparat; Children, Deflagrator; Marianini, Ladungssäule.

1816. Oersted, Kastenapparat; Péclet, Volta's Fundamentalversuch; Ronalds, Telegraph.

1817. Parrot, Trockene Säule; Oersted, Erwärmung durch den Strom; Frauenhofer, Spectrum des Entladungsfunkens.

1818. Hauy, Elektricität durch Druck.

1819. Bohnenberger, Elektroskop; Hare, Calorimotor.

1820. Oersted, Seebeck, Ampère und Boisgiraud, Elektromagnetische Kräfte; Biot und Savart, Gesetz der elektromagnetischen Wirkung; Arago, Ampère und Seebeck, Magnetisirung durch den Strom; Ampère, Elektrodynamik und Theorie des Magnetismus; Ampère, Biot und Savart, Astasirung; Schweigger und Poggendorff, Multiplicator; Arago und Yelin, Magnetisirung durch Entladungen; Ampère und Laplace, Telegraphie; Becquerel, Electricität durch Druck und Trennung.

1821. Laplace, Gesetz der elektromagnetischen Wirkung; Faraday und Ampère, Rotationserscheinungen; Schmidt, Elektrodynamische Kräfte bei Entladungen; Ampère, Astatische Nadel; Seebeck, Thermoelektricität; Davy, Erwärmung durch den Strom und Unveränderlichkeit der Stromstärke längs homogener Leitungen; Pfaff, Volta's Fundamentalversuch; Poggendorff, Elektromotorische Kräfte galvanischer Ketten; Hare, Galvanische Batterie; Offenhaus, Calorimotor; Poisson, Theorie der Elektrostatik.

1822. Ampère, Theorie der Elektrodynamik und Magneto-Induction; Seebeck, Thermoelektrische Spannungsreihe; Davy, Anziehung von Eisenfeilspänen durch den Stromkreis, Magnetisirung durch Spannungselektricität und magnetische Ablenkung des Lichtbogens; Schmidt, Galvanische Batterie; Hauy, Krystallelektricität.

1823. Becquerel, Pile à oxigène Davy, Rotation flüssiger Stromleiter; Faraday, Princip der polaren Zersetzung durch Spannungselektricität; Yelin, Thermoelektricität; Oersted und

lichtes; Ettingshausen, Magnetoelektrische Maschine; Jacobi, Elektrisches Boot; Dove, Inductionsapparat; Steinheil, Erdleitung; Jobart, Glühlicht.

1839. Schönbein und Grove, Polarisation; Schönbein, Passivität; Gassiot, Elemente mit Thonzellen; Grove, Constantes Element und Gaskette; Fechner, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten; Roberts, Voltameter; Daniell, Elektrolytisches Grundgesetz; Lenz und Jacobi, Wirkung der Elektromagnete; Riess, Inductionsgesetz für Spannungselektricität; Gauss, Theorie der Elektrostatik; Faraday, Zitteraal; Page, Magnetoelektrische Maschine; Wagner, Stromunterbrechender Hammer; Vorsselmann und E. Davy, Telegraph; Wheatstone, Zeigertelegraph und Relais; Steinheil, Zeittelegraph.

1840. Schönbein, Ozon; Cooper, Schönbein und Hawkins, Galvanische Elemente; Daniell, Voltameter; Poggendorff, Jacobi und Wheatstone, Rheostat; Poggendorff, Sinusboussole und Stromverzweigung; Weber, Magnetische und chemische Masseinheiten; Weber, Elektromagnet; Pfaff, Spannungsreihe; Faraday, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten und Thermoströme bei Elektrolyten; Henry, Inductionsströme höherer Ordnung; Armstrong, Dampfelektricität; Oersted und August, Elektrometer; Morse, Telegraph; Wheatstone, Unterseeischer Telegraph; Wheatstone und Bain, Zeittelegraph; Rive, Galvanische Vergoldung.

1841. Poggendorff, Theorie des Galvanismus, Messung der Stromstärke mit dem Luftthermometer, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten und cylindrische Form der Elemente; Oersted, Chlorplatin-Element; Bunsen, Kohlen- und Chromsäure-Element; Péclet, Spannungsreihe; Joule, Erwärmung durch den Strom; Weber, Elektrodynamometer; Abria, Inductionsströme höherer Ordnung; Du Bois-Reymond, Inductionsapparat und thierische Elektricität; Wheatstone, Typendrucktelegraph; Ruolz, Dumas und Christofle, Galvanostegie; Böttger, Galvanoplastik; Moleyns, Glühlicht.

1842. Leeson, Warrington und Poggendorff, Chromsäure-Element; Poggendorff, Galvanometer; Osann, Voltaskop; Dellmann, Elektrometer; Becquerel, Zitteraal; Dove, Magnetoelektrische Maschine; Bain, Chemischer Telegraph; Morse, Unter-

seeischer Telegraph; Kobell, Galvanographie; Grove, Galvanoplastik.

1843. Faraday, Dampfelektricität; Riess, Krystallelektricität; Poggendorff, Polarisation; Rive, Braunsteinkette; E. Becquerel, Peltier's Phänomen und Erwärmung durch den Strom; Thomson, Sprengung durch Spannungselektricität; Bain, Nadel- und Typendrucktelegraph; Becquerel, Galvanochromie.

1844. Morse, Telegraph; Fardelly, Telegraph; Erster öffentlicher Telegraph; Stöhrer, Magnetoelektrische Maschine; Froment, Elektromotor; Elkington und Mason, Galvanostegie; Changy, Glühlicht; Foucault und Deleuil, Bogenlicht; Marrian, Galvanisches Tönen; Lenz, Erwärmung durch den Strom; Wheatstone, Widerstandsmessung; Buff, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten und Spannungsreihe; Hankel, Thermoelektrische Reihe; Matteucci, Theorie des Galvanismus.

1845. Grassmann und Neumann, Theorie der Elektrodynamik; Fechner und Neumann, Theorie der Induction; Kirchhoff, Stromverzweigung; Pfaff, Theorie des Galvanismus; Marignac, Ozon; Grove, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten; Rive, Zitteraal; Winter, Sprengung durch Spannungselektricität; Armstrong, Dampfelektrisirmaschine; Petrina, Magnetoelektrische Maschinen; Wheatstone, Bréguet und Siemens, Chronoskop; Starr, Glühlicht; Wright, Bogenlicht.

1846. Weber, Elektrisches Grundgesetz, Ampère's Gesetz, Gesetze und Theorie der Induction und Stromverzweigung; Kirchhoff, Stromgesetze; Jacobi, Widerstandseinheit; Ruhmkorff, Elektromagnet; Romershausen, Elektrometer; Reich und Riess, Elektricität bei Verdampfung; Page, Magnetoelektrische Maschine; Staite, Bogenlicht.

1847. Kohlrausch, Elektrometer; Poggendorff, Voltameter; Grove, Elektrolyse durch Entladungen; E. Becquerel, Peltier's Phänomen; Breda, Lichtbogen; Bakewell, Chemischer Telegraph; Morse, Typendrucktelegraph.

1848. Kohlrausch, Spannung der offenen Kette; Svanberg, Theorie des Galvanismus; Walker, Geschwindigkeit der Elektricität; Wöhler und Buff, Chromsäure-Element; Müller, Erwärmung durch den Strom; Hankel, Messung der Stromstärke durch die Erwärmung; Weare, Elektrische Uhr; Wertheim, Gal-

1864. Soret, Clausius und Schönbein, Ozon; E. Becquerel, Elektromotorische Kraft von Thermoketten; Bunsen, Thermosäule; Maxwell, Theorie der Elektricität.

1865. Töpler und Holtz, Influenzmaschine; Markus, Thermosäule; Beetz, Ohm's Gesetz; Yates, Telephon; Hankel, Theorie der Elektricität.

1866. E. Becquerel, Thermosäule; Wilde, Magnetoelektrische Maschine; Siemens, Dynamoelektrisches Princip und dynamoelektrische Maschine; Transatlantisches Kabel.

1867. Holtz, Influenzmaschine zweiter Art; Poggendorff, Influenzmaschine; Du Bois-Reymond, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten; Leclanché, Braunstein-Element; Ladd, Dynamoelektrische Maschine; Murray, Varley und Wheatstone, Dynamoelektrisches Princip; Siemens, Kraftübertragung.

1868. Kundt, Influenzmaschine; Rue und Müller, Chlorelement.

1869. Kaiser, Influenzmaschine; Buff, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten; Stefan, Grundgesetze der Elektrodynamik; Mure und Clamond, Thermosäule; F. Kohlrausch, Ohm's Gesetz; Ebner, Sprengapparat.

1870. Helmholtz, Elektrisches Grundgesetz; Worm-Müller, Elektromotorische Kraft galvanischer Ketten; Riess, Influenzmaschine; Kravogl, Elektromotor; Pfaundler, Dynamoelektrische Maschine.

1871. Noë, Thermosäule; Schwedoff, Influenzmaschine; Gramme, Dynamoelektrische Maschine; Meyer, Multiplextelegraph.

1872. Thomson, Elektrometer; Bezold, Theorie des Elektrophors; Beetz, Galvanische Batterie; Gore, Thermoströme bei Elektrolyten; Hefner-Alteneck, Dynamoelektrische Maschine; Stearns, Gegensprechen.

1873. Hankel, Edlund und Maxwell, Theorie der Elektricität; Clausius, Elektrisches Grundgesetz; Lang, Galvanometer; May, Leitungsfähigkeit des Selens.

1874. Siemens und Du Bois-Reymond, Galvanometer; Tait, Thermoelektrische Spannungsreihe; Oesterreichischer Feldzündapparat; Gray, Telephon.

1875. Righi und Rosetti, Influenzmaschine; Siemens, Geschwindigkeit der Elektricität; Bunsen und Rue, Galvanische Elemente;

R. Kohlrausch, Theorie der Thermoelektricität; Bell, Telephon; Konn, Glühlicht.

1876. Leclanché, Clark und Murhead, Galvanische Elemente; British Association, Ohm's Gesetz; Bell, Telephon; Jablochkoff, Elektrische Kerzen.

1877. Mascart, Influenzmaschine; Bell, Telephon; Hughes, Berliner und Lüdtge, Mikrophon; Tschikoleff, Bogenlicht.

1878. Leclanché, Galvanisches Element; Siemens, Telephon; Hughes, Inductionswage; Sawyer und Man, Glühlicht.

1879. Töpler, Influenzmaschine; Exner, Theorie des Galvanismus; Siemens, Elektrische Eisenbahn; Edison, Glühlicht; Hefner-Alteneck, Differentiallampe.

1880. Voss, Influenzmaschine; Desprez, Galvanometer; Curie, Krystallelektricität; Bell, Photophon; Swan, Glühlicht.

1881. Pariser erste elektrische Ausstellung; Elektriker-Congress, Absolutes Masssystem; Faure, Méritens, Pezzer und Carpentier, Accumulatoren; Gaiffe, Galvanisches Element; Ayrton und Perry, Galvanometer; Fröhlich, Theorie der elektrischen Maschinen; Maxim, Glühlicht.

1882. Edison, Voltameter; Desprez und d'Arsonval, Galvanometer.

1883. Clausius, Theorie der elektrischen Maschinen.

Namenregister.

Abria, Inductionsströme 226.
Adams, Amalgam 24.
Adanson, Zitteraal 97.
Ader, Telephon 294; Mikrophon 295.
Aepinus, Theorie 43, 44; Influenz 48; Elektrostatik 74; Elektricität durch Erstarren 101; Turmalin 105.
Aldini, Galvanismus 127; Physiologische Wirkungen 300.
Allamand, Kleist'sche Flasche 31.
Ampère, Elektromagnetismus 188, 189, 190; Elektrodynamik 192, 193, 195, 196, Magnetismus 193; Rotationen 194; Multiplicator 207; Astasirung 208; Induction 220; Telegraph 259.
Andrews, Ozon 150.
Arago, Elektromagnetismus 189, 190, 197; Rotationsmagnetismus 221.
d'Arcy, Elektroskop 71.
Archereau, Bogenlicht 304, 305.
Armstrong, Dampfelektrisirmaschine 104.
d'Arsonval, Galvanometer 216.
Ash, Elektrolyse 135.
August, Elektrometer 82.
Avenarius, Thermoelektricität 202.
Ayrton, Galvanometer 217.
Babbage, Rotationsmagnetismus 221.
Bachoffner, Inductionsapparat 255.
Bain, Telegraphen 279, 280; Elektrische Uhr 284.
Bakewell, Telegraph 280.
Barlow, Ohm's Gesetz 209; Elektrisches Rädchen 248.
Barraud, Zeittelegraph 284.
Beccaria, Leitung 44; Influenz 48; Electricitas vindex 49; Luftelektricität 91; Blitzableiter 93; Wärmewirkungen 111; Glimmen 114; Chemische Wirkungen 119.
Becker, Elektrischer Wagen 251.
Bechstein, Trockene Säule 160.
Becquerel A. C., Zitterrochen 98; Elektricität durch Druck und Trennung 102; Elektromotorische Kräfte 130, 131; Elektrolyse 144, 146; Polarisation 153;

Säulenelektroskop 162; Constante Elemente 167, 168; Galvanismus 177, 180; Thermoelektricität 199, 201; Ohm's Gesetz 209; Galvanometer 212, 213; Elektrochemie 296; Galvanochromie 297.
Becquerel E., Thermoelektricität 199; Thermosäule 201; Wärmewirkungen 204; Peltier's Phänomen 205.
Beetz, Elektromotorische Kräfte 131; Gasketten 132; Polarisation 153; Galvanische Batterie 172; Ohm's Gesetz 211.
Behrens, Trockene Säule 158, 159.
Bell, Telephon 291, 292, 293, 294; Photophon 295.
Belli, Influenzmaschine 58, 59, 60.
Ben David, Kenntnisse der Alten 2
Bennet, Condensator 52; Duplicator 53, 54, 56; Elektroskop 74, 95.
Beraud, Mechanische Wirkungen 110.
Berge, Influenzmaschine 67.
Bergman, Reibungselektricität 100; Turmalin 105, 107.
Berliner, Telephon 295.
Bernoulli, Leuchten von Röhren 13; Reibungselektricität 15.
Bertani, Elektrotherapie 301.
Bertsch, Influenzmaschine 66.
Berzelius, Elektrolyse 137, 139, 140, 146; Galvanismus 177.
Bétancourt, Telegraph 118.
Bevis, Belegung 36; Luftelektricität 90.
Bezold, Lichtenberg'sche Figuren 103; Thierische Elektricität 299.
Bichat, Physiologische Wirkungen 300.
Biot, Elektrostatik 79; Volta's Fundamentalversuch 128; Galvanismus 133; Galvanische Säule 158; Elektromagnetismus 188; Astasirung 208.
Bird, Elektrotherapie 300.
Bischof, Voltameter 144.
Blake, Mikrophon 295.
Bleekrode, Influenzmaschine 66.
Boeckmann, Telegraph 117.
Bohadsch, Elektrotherapie 108.
Bohnenberger G. C., Duplicator 57.
Bohnenberger J. G. F., Trockene Säule 160; Säulenelektroskop 162.
Bois-Reymond du, Elektromotorische Kräfte 131; Galvanometer 216; Extraströme 226; Inductionsapparat 255; Nerven- und Muskelelektricität 299.
Boisgiraud, Elektromagnetism. 189.
Borchart, Influenzmaschine 66.
Bornhardt, Sprengapparat 113.
Bosscha, Galvanometer 213; Doppeltelegraph 283.
Bose, Elektrisirmaschine 19.
Bostock, Elektrolyse 139.
Botto, Elektrischer Wagen 251.
Böttger, Galvanoplastik 298.
Boyle, Reibungelektricität 12.
Breda, Lichtbogen 207.
Bréguet, Zeigertelegraph 279; Zeittelegraph 284; Chronoskop 284; Zündapparat 302.

Breschet, Zitterrochen 98.
Brewster, Krystallelektricität 106.
Brugnatelli, Vergoldung 296.
Brush, Elektrische Maschine 246.
Buff, Spannungsreihe 129; Elektromotorische Kräfte 131; Elektrolytisches Grundgesetz 146; Chromsäure-Element 171.
Bunsen, Elektrolyse 138; Voltameter 145; Galvanische Elemente 170, 171; Thermosäule 201.
Bürgin, Elektrische Maschine 246.
Burnouf, Geschwindigkeit der Elektricität 116.
Byrne, Chromsäure-Element 171.
Canton, Reibzeug 23; Influenzelektricität 47; Elektroskop 72; Massflasche 72; Luftelektricität 90, 91; Gesetze der Reibungselektricität 99, 100; Elektricität durch Druck und Trennung 101; Turmalin 105; Elmsfeuer 114.
Carlisle, Funken bei der Säule 132; Wasserzersetzung 135.
Carpentier, Accumulator 156.
Carré, Influenzmaschine 66.
Caselli, Chemischer Telegraph 280.
Cassini, Leuchten von Röhren 13; Reibungselektricität 15.
Cavallo, Elektrisirmaschine 24; Duplicator 54, 55; Elektroskop 73, 74; Luftelektricität 94; Elektricität pulverförmiger Körper 102; Elektrotherapie 109; Telegraph 118; Physiologische Wirkungen 120.
Cavendish, Kleist'sche Flasche 34; Gesetze der Elektrostatik 75; Elektrolyse 119.
Cazin, Entladungsfunken 115.
Changy, Glühlicht 302.
Chaulnes, Elektrisirmaschine 25.
Children, Galvanische Batterie 164, 165.
Christofle, Galvanostegie 297.
Cigna, Theorie der Elektricität 44, 45, 46; Reibungselektricität 100.
Clamond, Thermosäule 201.
Clark, Braunstein-Element 172.
Clarke, Magnetoelektrische Maschine 232.
Clausius, Wärmewirkungen 111; Elektrolyse 148, 149; Ozon 150; Thermoelektricität 202; Peltier's Phänomen 205; Stromgesetze 212; Theorie der Elektricität 229; Dynamoelektrische Maschinen 248.
Coiffier, Gewitterelektricität 89.
Colladon, Magnetische Ablenkung durch Entladungen 198.
Cooke, Nadeltelegraph 267, 268, 269, 279; Zeigertelegraph 275; Signalwesen 283.
Cooper, Galvanisches Element 170.
Coulomb, Drehwage 76; Elektrostatische Grundgesetze 77; Elektrostatik 78; Gesetz der Reibungselektricität 100.
Coxe, Chemischer Telegraph 280.
Crossley, Mikrophon 295.

Cruikshank, Kleist'sche Flasche 133; Elektrolyse 135, 136, 138; Zellenapparat 163.
Crussel, Elektrotherapie 301.
Cunaeus, Kleist'sche Flasche 31.
Curie, Krystallelektricität 106, 107.
Curtet, Lichtbogen 206.
Cuthberson, Elektrisirmaschine 25.
Dalibard, Gewitterelektricität 89.
Daniell, Voltameter 145; Elektrolytisches Grundgesetz 146; Constante Elemente 168, 173; Galvanoplastik 297.
Dantec le, Influenzmaschine 66
Daumius, Turmalin 104.
Davy E., Telegraph 275.
Davy H., Elektrische Fische 98; Elektromotorische Kräfte 130, 167; Elektrolyse 135, 137, 138, 139, 142, 146; Zellenapparat 163; Galvanismus 176, 177; Elektromagnetismus 190; Rotation flüssiger Leiter 195; Magnetisirung durch Entladungen 197; Wärmewirkungen 203; Lichtbogen 206, 207; Ohm's Gesetz 209; Telegraph 259.
Davy M., Chlorelement 173.
Deimann, Elektrolyse 119.
Deleuil, Bogenlicht 304.
Dellmann, Elektrometer 83, 84; Luftelektricität 96.
Delor, Gewitterelektricität 89.
Desaguliers, Reibungselektricität 18; Funke 87.
Desprez, Galvanometer 216, 217.
Detouche, Elektrische Uhr 284.
Digney, Farbschreiber 280.
Dirichlet, Potentialtheorie 81.
Divisch, Blitzableiter 92.
Dörflinger, Galvanische Sprengung 301.
Dove, Magnetoelektrische Maschine 234; Inductionsapparat 254.
Dub, Elektromagnete 192.
Duboscq, Bogenlicht 305.
Duchenne, Elektrotherapie 300, 301.
Duhamel, Rotationsmagnetismus 221.
Dumas, Galvanostegie 297.
Eberhart, Elmsfeuer 114.
Eberle, Elektrophor 51.
Ebner, Zündapparate 112, 113.
Edelmann, Elektrometer 86.
Edison, Voltameter 145; Elektrische Maschinen 246; Telephon 294; Glühlicht 303, 304.
Edlund, Extraströme 226; Theorie der Elektricität 229.
Elicott, Elektroskop 71.
Elkington, Galvanostegie 297.
Erdmann, Elektrolyse 139.
Erman, Zündung durch den Strom 133; Galvanismus 134, 177; Unipolare Leitung 140; Trockene Säulen 161.
Ettingshausen, Magnetoelektrische Maschine 232.
Exner, Galvanismus 182.
Fabbroni, Elektrolyse 134; Galvanismus 134, 175.
Faraday, Zitteraal 98; Dampfelektricität 104; Glimmlicht 115;

Elektrolyse durch Entladungen 120; Elektromotorische Kräfte 130; Elektrolyse 142, 143, 147, 148, 149; Voltameter 144, 145; Elektrolytisches Grundgesetz 146; Voltaskop 147; Galvanische Batterie 166; Galvanismus 179, 182; Rotationserscheinungen 194, 195; Thermoelektricität 200; Inductionselektricität 222, 223, 224, 225; Rotationsmagnetismus 223, 224; Extraströme 226; Kraftlinien 229; Elektrische Maschine 230; Rotationsapparate 248.

Fardelly, Telegraph 281.

Faure, Accumulator 156.

Fay du, Leuchten von Barometerröhren 13; Reibungselektricität 16, 17.

Fechner, Elektromotorische Kräfte 130; Säulenelektroskop 162; Contacttheorie 175, 180, 181, 182; Elektromagnete 192; Ohm's Gesetz 211; Inductionselektricität 227; Theorie der Elektricität 228.

Feddersen, Entladung 115.

Felici, Entladungsfunken 115; Volta-Induction 225.

Ferguson, Elektrotherapie 109.

Ferisi, Elmsfeuer 114.

Ferraris, Unipolarmaschine 247.

Fizeau, Geschwindigkeit der Elektricität 116.

Forster, Perpetuum mobile 161.

Foucault, Inductionsapparat 256; Bogenlicht 304. 305.

Fourcroy, Elektrolyse 138.

Fourier, Thermosäule 200.

Frank, Elektrotherapie 301.

Frankenheim, Peltier's Phänomen 205.

Franklin, Kleist'sche Flasche 39, 40, 41; Theorie der Elektricität 39, 40, 41; Cascadenbatterie 41; Oberflächenvertheilung 42, 75; Spitzenwirkung 42; Mechanische Wirkungen 45, 110; Gewitterelektricität 88, 89; Luftelektricität 91; Blitzableiter 88, 92; Elektrotherapie 109; Magnetische Wirkung 110, 186; Elmsfeuer 114; Elektrischer Geruch 150; Elektrotechnik 230.

Franz, Wärmeleitung 201.

Frauenhofer, Funkenspectrum 115.

Frischen, Gegentelegraph 282.

Frölich, Dynamoelektrische Maschinen 248.

Froment, Elektromotor 252; Zeigertelegraph 279.

Fuller, Chromsäure-Element 171.

Gaiffe, Chlorelement 173.

Galienus, Zitterrochen 4.

Galvani, Rückschlag 122; Physiologische Wirkungen 122, 123; Thierische Elektricität 124, 125, 298.

Garnier, Zeittelegraph 284.

Gassiot, Constante Elemente 169.

Gätschmann, Zündapparat 112.

Gaugain, Krystallelektricität 107; Tangentenboussole 214; Volta-Induction 225.

Gauss, Potentialtheorie 81; Telegraph 260, 261, 262; Signalwesen 265.
Gautherot, Polarisation 151.
Gay-Lussac, Blitzableiter 94.
Gentili, Elektrotherapie 300.
Giessing, Reibzeug 21.
Gilbert L. W., Funken der Säule 205.
Gilbert W., Reibungselektricität 8, 9.
Gintl, Chemischer Telegraph 280; Doppel- u. Gegentelegraph 282.
Gmelin, Galvanismus 180.
Gordon, Reibungselektricität 19, 21, 108.
Gore, Thermoelektricität 200.
Gould, Geschwindigkeit der Elektricität 116.
Gounelle, Geschwindigkeit der Elektricität 116.
Gower, Telephon 294.
Gralath, Kleist'sche Flasche 31, 32, 34; Geschichte 32; Elektroskop 71; Zündung 108.
Gramme, Dynamoelektrische Maschinen 242, 243.
Grapengiesser, Elektrotherapie 300.
Grassmann, Elektrodynamik 196, 197.
Gray E., Telephon 291.
Gray St., Reibungselektricität 15, 16; Elektricität erstarrter Körper 101.
Green, Potentialtheorie 80, 81.
Greener, Glühlicht 302.
Grenet, Chromsäure-Element 171.
Grotthuss, Elektrolyse 141, 142.
Grove, Elektrolyse durch Entladungen 120; Gaskette 131, 132; Constantes Element 169.
Grummert, Glimmlicht 113.
Guericke, Reibungselektricität 9, 10, 11, 12; Funken 87; Wirkungen der Elektricität 107; Ausströmen der Elektricität 114.
Guillemin, Geschwindigkeit der Elektricität 116.
Haën de, Elektrotherapie 109.
Haldane, Säulenelement 157; Galvanismus 175.
Hall, Elektrotherapie 300.
Hallé, Elektrotherapie 300.
Hankel, Krystallelektricität 106, 107; Spannungsdifferenzen 130; Elektrometer 162; Thermoelektricität 199; Messung der Stromstärke durch Erwärmung 204; Theorie der Elektricität 230.
Hare, Galvanische Elemente 165, 166.
Harris, Elektroskop 82; Blitzableiter 94; Wärmewirkungen 111; Zündung 112.
Hart, Elektrotherapie 109.
Hartmann, Elektrotherapie 109.
Hausen, Elektrisirmaschine 18.
Hauy, Elektricität durch Druck 101; Krystallelektricität 106.
Hawkins, Galvanisches Element 170.
Hawksbee, Reibungselektricität 13, 14, 15; Physiologische Wirkung 108; Glimmlicht 113.

Hefner-Alteneck, Dynamoelektrische Maschine 244, 245; Bogenlicht 307.
Heidenhayn, Thierische Elektricität 299; Elektrotherapie 300.
Heinrich, Elektrische Uhr 162.
Helmholtz, Potentialtheorie 212; Tangentenboussole 214; Extraströme 226; Theorie der Elektricität 229.
Henley, Elektroskop 73.
Henry, Inductionsströme höherer Ordnung 226.
Herschel, Rotationsmagnetism. 221.
Higgins, Amalyam 24.
Hipp, Elektrische Uhren 284; Chronoskop 284.
Hisinger, Elektrolytisches Grundgesetz 139.
Hittorf, Elektrolyse 146.
Holtz, Influenzmaschine erster Art 62, 63, 64, 65; Influenzmaschine zweiter Art 67, 68.
Hopkinson, Spitzenwirkung 42.
Houdin, Elektrische Uhr 284.
Hufeland, Scheintod 300.
Hughes, Typendrucktelegraph 281; Mikrophon 294; Inductionswage 295.
Humboldt, Reibungselektricität 6; Zitteraal 98; Galvanismus 127, 134; Elektrolyse 135; Physiologische Wirkungen 300; Elektrotherapie 300.
Hunter, Zitteraal 96
Jablochkoff, Bogenlicht 306.
Jacobi, Elektromagnete 192; Widerstandsmessung 219; Elektromotor 250, 251; Elektrisches Boot 251; Galvanoplastik 297.
Jäger, Trockene Säulen 160; Galvanismus 177.
Jallabert, Elektrotherapie 108; Mechanische Wirkungen 110; Physiologische Wirkungen 121.
Jaspar, Bogenlicht 305.
Icilius, Peltier's Phänomen 205.
Jenkins, Extraströme 225.
Ingenhouss, Scheibenmaschine 25; Elektrophor 51.
Jobart, Glühlicht 302.
John, Farbschreiber 280.
Joule, Elektromagnete 192; Wärmewirkungen 203.
Kaiser, Influenzmaschine 66.
Karsten, Galvanismus 180.
Kastner, Elektr. Feuerzeug 164.
Keir, Passivität 153.
Kemp, Amalgam-Element 166.
Kienmayer, Amalgam 25.
Kinnersley, Glas- und Schwefelelektricität 41; Wärmewirkungen 111.
Kirchhoff, Theorie des Stromes 211, 212, 228.
Kleist, Verstärkungsflasche 30.
Klindworth, Elektrophor 51.
Kobell, Galvanographie 298.
Kohlrausch F., Thermoelektricität 202; Ohm's Gesetz 211.
Kohlrausch R., Elektrometer 83, 84; Spannungsdifferenzen 129, 184, 211; Elektromotorische Kräfte 131; Thermosäulen 200; Ohm's Gesetz 184, 211.
Konn, Glühlicht 302.

Kramer, Zeigertelegraph 279; Doppeltelegraph 283; Elektrische Uhr 284.
Kratzenstein, Physiologische Wirkungen 21; Elektrotherapie 108.
Kravogl, Elektromotor 242.
Krüger, Chemische Wirkung 21; 108, 119; Kleist'sche Flasche 31.
Kundt, Influenzmaschine 66.
Kuopho, Reibungselektricität 5.
Ladd, Influenzmaschine 67; Dynamoelektrische Maschine 241.
Lamont, Galvanometer 216.
Lane, Massflasche 72.
Lang, Galvanometer 216.
Laplace, Potentialtheorie 79; Elektricität bei Verdampfung 103; Elektromagnetismus 189; Telegraph 259.
Lavoisier, Elektricität bei Verdampfung 103; Alkalien 187.
Leclanché, Braunsteinelement 171, 172.
Leeson, Chromsäure-Element 171.
Lehmann, Turmalin 105.
Lenz, Elektromagnete 192; Wärmewirkung 204; Inductionselektricität 224, 225.
Lesage, Telegraph 117.
Leyser, Influenzmaschine 66.
Liais, Elektrische Uhr 284.
Libes, Elektricitätserregung durch Druck 101.
Lichtenberg, Kenntnisse der Alten 2; Elektrisirmaschine 25; Elektrophor 51; Staubfiguren 52, 102; Doppel-Elektrophor 53; Luftelektricität 95.
Lieberkühn, Kleist'sche Flasche 31.
Liebig, Zusammengesetzte Radicale 141.
Linari, Elektrische Fische 98.
Linné, Turmalin, 105.
Listern, Elektrotherapie 301.
Locht de Labye, Mikrophon 295.
Loder, Elektrotherapie 300.
Lomond, Telegraph 117.
Lovet, Elektrotherapie 109.
Luc, Trockene Säulen 160, 161; Perpetuum mobile 160, 161.
Lüdicke, Trockene Säulen 158.
Ludolff, Leuchten von Barometerröhren 13; Zündung 19, 108.
Lüdtge, Mikrophon 295.
Lund, Zeittelegraph 284.
M. C., Telegraph 117.
M. P., Magnetoelektrische Maschine 230.
Mahon, Blitzableiter 93; Rückschlag 122.
Maimbray, Physiologische Wirkungen 121.
Malderen, Magnetoelektrische Maschine 235.
Man, Glühlicht 302.
Maréchaux, Luftelektricität 96; Voltameter 144; Säulenelektrometer 159; Trockene Säulen 161.
Marianini, Polarisation 152; Induction durch Entladungsströme 225.
Marignac, Ozon 150.
Markus, Thermosäule 201; Zündapparat 302.
Maron, Gegentelegraph 282.
Marrian, Galvanisches Tönen 284.

Planté, Secundäre Elemente 154, 155.
Plinius, Bernstein 6; Carbunculus 6.
Poggendorff, Influenzmaschinen 65, 66, 67; Elektromotorische Kräfte 130, 131; Voltameter 145, 146; Polarisation 153; Galvanische Elemente 169; Chromsäure - Elemente 171; Galvanismus 180; Messung der Stromstärke durch die Erwärmung 204: Multiplicator 207, 210; Gesetze des Stromes 212; Galvanometer 213, 214; Spiegelablesung 215; Widerstandsmessung 219; Inductionsapparat 255.
Pohl, Inductionsapparat 254.
Poisson, Elektrostatik 79, 80.
Ponti n, Elektrolyse 137.
Pouillet, Blitzableiter 94; Luftelektricität 96; Elektricität bei Verdampfung 103; Ohm's Gesetz 211; Stromgesetze 212; Tangentenboussole 213, 214; Sinusboussole 214.
Pravaz, Elektrotherapie 301.
Priestley, Elektrisirmaschinen 25, 27; Theorie der Elektricität 46; Geschichte 46; Elektroskop 73; Elektrostatisches Grundgesetz 75; Wärmewirkungen 111; Funkenspectrum 114; Elektrischer Geruch 118; Chemische Wirkungen 119; Farbenringe 119.
Pulvermacher, Galvanische Kette 174.
Radford, Galvanotherapie 301.
Ramsden, Elektrisirmaschine 25, 30.
Régnauld, Elektromotorische Kräfte 131.
Reich, Elektricität bei Verdampfung 103.
Reil, Galvanismus 125.
Reimarus, Blitzableiter 92, 94.
Reis, Telephon 286, 287, 288, 289.
Reiser, Telegraph 117.
Remak, Elektrotherapie 301.
Richer, Zitteraal 97.
Richmann, Luftelektricität 91.
Riemann, Potentialtheorie 81.
Riess, Elektrophor 51; Influenzmaschinen 65, 66; Elektrometer 84; Elektricität bei Verdampfung 103; Krystallelektricität 106; Wärmewirkungen 111, 112, 204; Induction 225.
Righi, Influenzmaschinen 66.
Ritchie, Dynamoelektrische Maschine 232; Elektromotor 249, 250; Telegraph 259.
Ritter, Spannungsgesetz 129; Funken der Säule 132; Galvanismus 132, 133, 175, 176; Elektrolyse 135, 137; Polarisation 151, 152; Ladungssäule 151; Galvanische Elemente 157, 158; Trockene Säulen 158, 161; Schüsselapparat 163; Funken der Säule 206.
Rive, Luftelektricität 96; Elektrische Fische 98; Voltameter 145; Ozon 150; Polarisation 153; Galvanische Elemente 171;

Galvanismus 178, 179, 181, 182; Wärmewirkung 203; Messung der Stromstärke durch die Wärmewirkung 204; Sinusboussole 214; Galvanostegie 296; Galvanoplastik 297.
Röber, Elektrometer 84.
Roberts, Voltameter 145.
Robertson, Elektrolyse 135; Voltameter 144; Funken der Säule 206.
Robison, Elektrostatisches Grundgesetz 75; Galvanische Säule 126.
Rollmann, Thermosäulen 201.
Romas, Luftelektricität 90.
Romershausen, Elektrometer 83.
Ronalds, Telegraph 118.
Rose, Krystallelektricität 106.
Rosenthal, Thierische Elektricität 299; Elektrotheraphie 300.
Rosetti, Influenzmaschinen 66.
Rousseau, Diagometer 162.
Le Roy, Elektrisirmaschinen 27, Elektroskop 71.
de la Rue, Galvanische Elemente 167; Chlorelement 173.
Ruhmkorff, Influenzmaschinen 66; Elektromagnete 192; Inductionsapparate 256; Zündung 302.
Runeberg, Physiologische Wirkungen 121.
Ruolz, Galvanostegie 296.
Salva, Telegraph 117.
Saussure, Blitzableiter 92; Luftelektricität 95, 96, 103; Elektricität bei Verdampfung 103.
Sauvage, Elektrotherapie 108.
Savart, Elektromagnetismus 188, 189; Astasirung 208.
Sawyer, Glühlicht 302.
Saxton, Magnetoelektrische Maschine 232.
Saxtorph, Elektroskop 108.
Schilling, Telegraph 260; Zündung 301.
Schmidt, Galvanische Batterie 166; Elektrodynamische Wirkung von Entladungsströmen 198.
Schönbein, Elektrische Fische 98; Elektrolyse 139; Ozon 150, 151; Polarisation 151, 153; Gaskette 153; Passivität 153; Galvanisches Element 170; Galvanismus 183, 184, 185.
Schübler, Luftelektricität 96; Trockene Säulen 161.
Schuckert, Elektrische Maschinen 246.
Schwedoff, Influenzmaschine 67.
Schweigger, Kenntnisse der Alten 2; Trockene Säulen 161; Multiplicator 207, 208.
Seebeck, Spannungsreihe 129; Elektromagnetismus 188, 190, 198; Magnetisirung durch den Strom 190; Thermoelektricität 199, 201; Multiplicator 208, 210.
Serrin, Bogenlicht 305.
Shaw, Sprengung 112.
Shephard, Magnetoelektrische Maschine 235.
Siemens (Siemens und Halske), Geschwindigkeit der Elektricität 116; Ozon 120; Galvanische Elemente 170; Galvanometer

214, 215, 216; Widerstandsmessung 219; Magnetoelektrische Maschine 236, 237; Dynamoelektrisches Princip 239, 240; Dynamoelektrische Maschinen 241; Unipolarmaschine 247; Princip der Umkehrbarkeit elektrischer Maschinen 253; Kraftübertragung 253; Elektrische Eisenbahn 253; Zeigertelegraph 279, 280; Farbschreibtelegraph 280; Typendrucktelegraph 281; Gegentelegraph 282; Zeittelegraph 284; Chronoskop 284; Telephon 294; Zündapparat 302.

Sigaud, Elektrisirmaschine 25.

Simon, Elektrometer 82; Zündung durch den Strom 133; Voltameter 144; Wärmewirkung 202, 203.

Sinsteden, Secundäre Elemente 154; Magnetoelektrische Maschinen 233, 239

Smeaton, Franklin'sche Tafel 36; Glimmlicht 114

Socin, Elektrophor 51.

Sömmering, Telegraph 256, 257, 258; Weckapparat 259; Scheintod 300.

Soret, Elektrolytisches Grundgesetz 146; Ozon 150.

Spencer, Galvanoplastik 297.

Spottiswoode, Inductionsapparat 256.

Staite, Glühlicht 302; Bogenlicht 304.

Stark, Multiplextelegraph 283.

Starr, Glühlicht 302.

Stearns, Gegentelegraph 282.

Stefan, Elektrodynamik 197.

Steffens, Wärmewirkung 202.

Steinheil, Telegraph 263, 264, 265; Erdleitung 266, 267; Zeittelegraph 283.

Sternberg, Galvanische Säule 158.

Stöhrer, Influenzmaschine 66; Elektrometer 86; Galvanisches Element 170; Magnetoelektrische Maschinen 234, 235; Telegraph 280.

Strathing, Elektrischer Wagen 251.

Streitzig, Elektrische Uhr 162.

Striedinger, Sprengung 301.

Sturgeon, Galvanische Elemente 166; Inductionsapparat 255.

Sulzer, Galvanismus 125, 126.

Svanberg, Galvanismus 181.

Swan, Glühlicht 304.

Swietlicki, Kleist'sche Flasche 31.

Swift, Blitzableiter 94.

Symmer, Theorie der Elektricität 44, 45.

Tait, Ozon 150; Thermoelektricität 202.

Thales, Bernstein 5.

Thenard, Elektrolyse 138.

Thénard, Ozon 120.

Theophrastos, Lynkurion 6.

Thomson, Sprengung 112.

Thomson W., Potentialtheorie 80, 81; Elektrometer 85, 86, 87; Krystallelektricität 107; Thermoelektricität 202; Peltier's Phänomen 205; Unterseeische Telegraphie 279.

Töpler, Influenzmaschinen 60, 61, 62, 69, 70.
Troostwyk, Elektrolyse 119.
Trouvé, Chromsäure-Element 171.
Tschikoleff, Bogenlicht 307.
Vail, Typendrucktelegraph 280.
Valli, Scheintod 300.
Varley, Dynamoelektrische Maschine 241.
Vauquelin, Elektrolyse 138.
Villarsy, Elektricität pulverförmiger Körper 102.
Volta, Electricitas vindex 49; Elektrophor 50; Condensator 52; Doppel-Elektrophor 53; Elektroskop 73, 74; Luftelektricität 95, 96, 103; Elektrische Fische 98, 127; Elektricität bei Verdampfung 103; Galvanismus 125, 126, 127, 128, 129, 132, 133, 174; Physiologische Wirkungen 125; Säule 126; Galvanische Elemente 126, 127, 156, 157; Ladungssäule 152; Thierische Elektricität 298.
Vorsselmann, Physiologischer Telegraph 279.
Voss, Influenzmaschine 70.
Wach, Galvanoplastik 297.
Wagner, Elektromotore 251; Selbstthätiger Hammer 254.
Waitz, Reibzeug 22; Elektroskop 71.
Walker, Geschwindigkeit der Elektricität 116; Thermoelektricität 200.
Wall, Reibungselektricität 12; Funkenentladung 12, 87, 108.
Walsh, Elektrische Fische 97.
Warrington, Galvanische Elemente 171.
Watson, Lynkurion 6; Elektrisirmaschine 21; Kleist'sche Flasche 35, 36; Erdleitung 36; Theorie der Elektricität 37, 38; Blitzableiter 92; Elmsfeuer 114.
Weare, Elektrische Uhr 284.
Weber J., Luftelektrophor 52.
Weber W., Elektromagnete 192; Elektrodynamik 197; Stromgesetze 212; Galvanometer 215, 216; Elektrodynamometer 216; Masseinheiten 217, 218; Induction 228; Theorie der Elektricität 228, 229; Telegraph 260, 261, 262; Signalwesen 265.
Wertheim, Galvanisches Tönen 285.
Wesley, Elektrotherapie 109.
Wheatstone, Entladungsfunken 115; Geschwindigkeit der Elektricität 116; Widerstandsmessung 219; Dynamoelektrische Maschinen 241; Nadeltelegraph 267, 268, 269; Weckapparat 273; Relais 273, 274, 275; Zeigertelegraph 275, 276, 277; Typendrucktelegraph 280; Unterseeischer Telegraph 281; Zeittelegraph 283; Chronoskop 284.
Wheeler, Reibungselektricität 15.
Wiedemann, Influenzmaschinen 66; Elektromotorische Kräfte 131; Wärmeleitung 201; Galvanometer 216.

Wild, Elektromotorische Kräfte 131; Thermoelektricität 200.
Wilde, Magnetoelektrische Maschine 239.
Wilke, Theorie der Elektricität 42, 43, 46; Influenzelektricität 47, 49; Elektrophor 51; Reibungselektricität 99, 100; Elektricität erstarrter Körper 100, 101; Turmalin 105; Glimmlicht 114.
Wilkinson, Trogapparat 163.
Wilson, Elektrisirmaschine 21, 22; Kleist'sche Flasche 34; Luftelektricität 90; Blitzableiter 92, 93; Reibungselektricität 100; Elektricität beim Schaben und Schneiden 101; Glimmlicht 114.
Winkler, Reibzeug 20, 21; Kleist'sche Flasche 31, 33, 34; Influenzelektricität 47; Gewitterelektricität 88; Blitzableiter 92; Zündung 108.
Winter, Elektrisirmaschine 28, 30; Influenzmaschine 66; Sprengung 112.
Wöhler, Zusammengesetzte Radicale 141; Chromsäure-Element 171.
Wollaston, Funkenspectrum 115; Elektrolyse 120; Trogapparat 164, 165; Galvanismus 175.
Worm-Müller, Elektromotorische Kräfte 131.
Wright, Bogenlicht 304.
Yates, Telephon 290.
Yelin, Magnetisirung durch Entladungsströme 198; Thermoelektricität 199.
Young, Galvanische Batterie 166.
Zamboni, Trockene Säulen 160, 161; Perpetuum mobile 161; Elektrische Uhr 162.
Zelle, Trockene Säulen 158.
Zenger, Influenzmaschine 66; Elektrometer 87; Sprengapparat 113.
Ziemssen, Elektrotherapie 300.
Zöllner, Elektrometer 87; Wärmewirkung 204.

Elektro-technische
BIBLIOTHEK.
XXIX. BAND.
BLITZ
und
BLITZ-SCHUTZVORRICHTUNGEN.
A. Hartleben's Verlag.
WIEN · PEST · LEIPZIG.

A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek.

In reich illustrirten Bänden, geheftet à 1 fl. 65 kr. = 3 Mark = 4 Francs = 1 R. 80 Kop.; eleg. gebunden à 2 fl. 20 kr. = 4 Mark = 5 Fr. 35 Cts. = 2 R. 40 Kop.
Jeder Band ist für sich vollkommen abgeschlossen und einzeln käuflich.

Inhalt der Sammlung:

19931.

I. Band. Die magnetelektrischen und dynamoelektrischen Maschinen und die sogenannten Secundär-Batterien, mit besonderer Rücksicht auf ihre Construction. Von Gustav Glaser-De Cew. 4. Auflage. — II. Band. Die elektrische Kraftübertragung und ihre Anwendung in der Praxis, mit besonderer Rücksicht auf die Fortleitung und Vertheilung des elektrischen Stromes. Von Eduard Japing. 2. Auflage. — III. Band. Das elektrische Licht. Von Dr. A. v. Urbanitzky. 2. Auflage. — IV. Band. Die galvanischen Batterien, Accumulatoren und Thermosäulen. Eine Beschreibung der hydro- und thermoelektrischen Stromquellen, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von Wilh. Ph. Hauck. 2. Auflage. — V. Band. Die Verkehrs-Telegraphie, mit besonderer Rücksicht auf die Bedürfnisse der Praxis. Von J. Zacharias. — VI. Band. Telephon, Mikrophon und Radiophon, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von Theodor Schwartze. 2. Auflage. — VII. Band. Die Elektrolyse, Galvanoplastik und Reinmetallgewinnung, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Praxis. Von Ed. Japing. 2. Auflage. — VIII. Band. Die elektrischen Mess- und Prüfungs-Instrumente. Ein Leitfaden der elektrischen Messkunde. Von A. Wilke. — IX. Band. Die Grundlehren der Elektricität, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendungen in der Praxis. Von W. Ph. Hauck. 2. Aufl. — X. Band. Elektrisches Formelbuch mit einem Anhange, enthaltend die elektrische Terminologie in deutscher, französischer und englischer Sprache. Von Prof. Dr. P. Zech. — XI. Band. Die elektrischen Beleuchtungs-Anlagen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer praktischen Ausführung. Von Dr. A. von Urbanitzky. 2. Auflage. — XII. Band. Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen und das Signalwesen. Von L. Kohlfürst. — XIII. Band. Die elektrischen Uhren und die Feuerwehr-Telegraphie. Von Prof. Dr. A. Tobler. — XIV. Band. Haus- und Hôtel-Telegraphie. Von O. Canter. — XV. Band. Die Anwendung der Elektricität für militärische Zwecke. Von Dr. Fr. Waechter. — XVI. Band. Die elektrischen Leitungen und ihre Anlage für alle Zwecke der Praxis. Von J. Zacharias. — XVII. Band. Die elektrische Eisenbahn bezüglich ihres Baues und Betriebes. Von Josef Krämer. — XVIII. Band. Die Elektro-Technik in der praktischen Heilkunde. Von Prof. Dr. Rud. Lewandowski. — XIX. Band. Die Spannungs-Elektricität, ihre Gesetze, Wirkungen und technischen Anwendungen. Von Prof. K. W. Zenger. — XX. Band. Die Weltliteratur der Elektricität und des Magnetismus, 1860 bis 1883. Von Gustav May. — XXI. Band. Die Motoren der elektrischen Maschinen mit Bezug auf Theorie, Construction und Betrieb. Von Theodor Schwartze. — XXII. Band. Die Generatoren hochgespannter Elektricität. Von Prof. Dr. J. G. Wallentin. — XXIII. Band. Das Potential und seine Anwendung zur Erklärung elektrischer Erscheinungen. Von Dr. O. Tumlirz. — XXIV. Band. Die Unterhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen. Von J. Zacharias. — XXV. Band. Die Mehrfach-Telegraphie auf Einem Drahte. Von A. E. Granfeld. — XXVI. Band. Die Kabel-Telegraphie. Von Max Jüllig. — XXVII. Band. Das Glühlicht, sein Wesen und seine Erfordernisse. Von Etienne de Fodor. — XXVIII. Band. Geschichte der Elektricität. Von Dr. Gustav Albrecht — XXIX. Band. Blitz und Blitz-Schutzvorrichtungen. Von Dr. A. von Urbanitzky. u. s. w. u. s. w.

Die Sammlung kann auch in Lieferungen à 30 Kr. ö. W. = 60 Pf. = 80 Cts. = 36 Kop. bezogen werden.

Einzelne Werke Bandausgabe abgegeben.
Einbanddecke 75 Pf. = 1 Fr. = 45 Kop.

A. Hartleben, Pest und Leipzig.

THE ASTOR LIBRARY
NY

Prokop Divisch.

BLITZ

und

BLITZ-SCHUTZVORRICHTUNGEN.

Von

Dr. Alfred Ritter von Urbanitzky.

Mit 80 Abbildungen.

WIEN. PEST. LEIPZIG.
A. HARTLEBEN'S VERLAG.
1886.

19931-

Alle Rechte vorbehalten.

K. k. Hofbuchdruckerei Carl Fromme.

Vorwort.

„Die Brandschäden durch den Blitz belaufen sich für die Provinz Schleswig-Holstein allein, auf jährlich 250.000 bis 300.000 Mark, was sich theils aus den vollständig zu übersehenden Zahlungen für Immobiliarversicherung, theils aus den weniger vollständig bekannten der Mobiliarversicherung ergiebt. Man wird hiernach die in ganz Deutschland jährlich durch die Gewitter verursachten Brandschäden mit 6 bis 8 Millionen Mark eher zu niedrig als zu hoch anschlagen. Dieser Verlust stellt ein so bedeutendes wirthschaftliches Object dar, dass es gewiss nothwendig wird, ernstlich an Mittel zur Verminderung der Schäden zu denken, umsomehr, als nach den übereinstimmenden Beobachtungen aus den verschiedensten Gegenden eine stetige Zunahme der Blitzschäden stattfindet." In dieser Weise äusserte sich Karsten in der Sitzung des Elektrotechnischen Vereines in Berlin vom 24. März 1885 gelegentlich eines Berichtes über Blitzschäden. Aus v. Bezold's Untersuchungen, welche sich über einen Zeitraum von circa fünfzig Jahren (1833 bis 1882) erstrecken, ergab sich, dass die Anzahl der zündenden Blitze in dieser Zeit eine nahezu stetige Zunahme erfahren hat, so zwar, dass die Gefährdung durch Blitz auf mehr als das Drei-

fache gestiegen ist. Zu solchen und ähnlichen Resultaten gelangten auch W. Holtz, L. Weber u. A.

Unter diesen Umständen dürfte es daher wohl gerechtfertigt erscheinen, die Aufmerksamkeit auf jene Schutzmittel zu lenken, welche Menschen und deren Eigenthum vor derartigen Elementarschäden zu bewahren im Stande sind. Obwohl nun aber der Blitzableiter dem Principe nach ein höchst einfacher und allgemein bekannter Apparat ist, begegnet man bezüglich seiner Wirkungsweise doch nur zu häufig überraschend unklaren, um nicht zu sagen falschen Vorstellungen. Dies führt aber dazu, dass die Anlage von Blitzableitern sehr oft, weil auf irrigen Vorstellungen beruhend, eine ganz verfehlte wird und daher nicht nur ihrem Zwecke keineswegs entspricht, sondern sogar häufig die Blitzgefahr erhöht. Folge davon sind Blitzschäden auch an solchen Objecten, die mit sogenannten Blitzableitern versehen sind. Der Blitz folgt dem mangelhaften Blitzableiter auf eine grössere oder geringere Länge, verlässt aber denselben, sobald sich ihm irgend ein bequemerer Weg zur feuchten Erde darbietet und hinterlässt entsprechend der Grösse des Widerstandes, den er auf der selbstgewählten Bahn findet, die Spuren seines Durchganges. Bei sehr mangelhaften Anlagen kommt es wohl auch vor, dass der Blitz mit vollständiger Umgehung des „Blitzableiters" auf das betreffende Object niederfährt. Dann hält der mit den Eigenschaften des Blitzes und der Wirkungsweise des Blitzableiters nicht bekannte Laie letzteren für überflüssig oder gar gefährlich und verhindert dadurch die Weiterverbreitung der segensreichen Erfindung Franklin's; als Verdienst dieses grossen Geistes galt und gilt nämlich immer die Erfindung

des Blitzableiters — und mit Recht; aber nicht mit Recht vergisst man stets darauf, dass noch ein anderer Mann genau dasselbe Verdienst auch für sich in Anspruch zu nehmen vollberechtigt ist. Er heisst Prokop Divisch. Diesem genialen Landsmanne zur bisher vorenthaltenen, wohlverdienten Anerkennung zu verhelfen, betrachtete der Verfasser, angeregt durch eine Abhandlung des Herrn Professors Dr. Jul. Friess, als Ehrenpflicht und widmete daher dieser Angelegenheit im ersten Abschnitte vorliegenden Werkes einen grösseren Raum, als sonst wohl gerechtfertigt erscheinen möchte.

Die übrigen Abschnitte aber sollen dem Leser das Wesen und Verhalten des Blitzes in den Hauptzügen vorführen, ihn mit der Aufgabe und Wirkungsweise des Blitzableiters bekannt machen und in die Lage versetzen, Blitzschutzvorrichtungen in rationeller Weise ausführen und erhalten zu können. Mit dem Wunsche, vorliegendes Buch möge zur Erreichung dieser Zwecke ein klein wenig beitragen, übergebe ich es hiermit der Oeffentlichkeit.

Dr. A. Ritter v. Urbanitzky.

Vorschläge der französischen Commission 112
„ von C. Kuhn 113
„ „ W. Holtz 114
„ „ Karsten und Callaud 116
„ „ Ulbricht 118
5. Aufstellung und Verbindung der einzelnen Theile 122
Aufstellung der Fangstange 123
Befestigung und Führung der Leitung 129
Verbindung der Fangstange mit der Leitung 136
Verbindung der Leitungsstücke untereinander 141
Löthfeuer 147

V. Die Anlage von Blitzschutzvorrichtungen.

Einfluss der Grösse des Gebäudes 150
„ „ Form der Bedachung 153
„ „ Baumaterialien 155
Anschlüsse von Metallmassen an den Blitzableiter 157
„ der Blitzableiter an Rohrleitungen 160
Einfluss der Lage des Gebäudes und der Bodenbeschaffenheit 168
1. Blitzableiter auf grösseren Bauten oder Gebäude-complexen 172
2. Blitzableiter für Pulvermagazine 176
3. Blitzschutz für Kirchen 180
Glocken- und Uhrthürme 182
Leuchtthürme 183
4. Blitzableiter auf Fabriksschornsteinen und Windmühlen 183
5. Blitzschutz für Schiffe 188
Blitzableiter nach Snow Harris 190
6. Blitzableiter für Telegraphen- und Telephonleitungen 193
Blitzplatte von Steinheil 197
„ „ Meissner 199
„ „ Siemens & Halske 200
Spitzenblitzableiter von Nottebohm 201
Blitzsteg von Kohlfürst 202
Spitzenblitzableiter von Bréguet 205
„ der Triester Telephonanlage 205

Seite
Blitzableiter nach Kerckhof 207
Kohleblitzableiter nach Ulbricht 209
Blitzableiter mit Schmelzdraht 213
Spindelblitzableiter 215
Linienblitzableiter von Siemens Brothers & Cie. 219
„ im Triester Telephonnetze 223
„ nach Süss 223
„ für Kabel 225
7. Blitzableiter für Leitungen dynamo-elektrischer Ströme 228

VI. Prüfung der Blitzableiter.

Galvanometrische Methode 234
Galvanometer von Keiser & Schmidt 238
Prüfungsapparat der Gebrüder Siemens & Cie. 241

VII. Anhang.

Regeln für die Errichtung von Blitzableitern 244

Illustrationsverzeichniss.

		Seite
	Prokop Divisch	IV
Fig. 1.	Meteorologische Maschine von Divisch	14
„ 2.	Elektroskope nach Zenger	27
„ 3.	Versuch des Wiener Militärcomités	31
„ 4.	„ „ „ „	32
„ 5.	„ von Mach	32
„ 6.	„ des Wiener Militärcomités	35
„ 7.	„ „ „ „	35
„ 8.	Vertheilung der Elektricität	38
„ 9.	Spitzenwirkung	43
„ 10.	Versuche von Töpler	50
„ 11.	„ „ Th. du Moncel	65
„ 12.	Fangspitze der französischen Commission	78
„ 13.	„ nach Berghausen	79
„ 14.	„ des Ingenieurcorps in Berlin	81
„ 15.	„ nach Lindner	82
„ 16.	„ „ Bein	84
„ 17.	„ „ Imhof	85
„ 18.	Fangstange	87
„ 19.	„ mit Windfahne	88
„ 20.	„ „ Flaggenstange	90
„ 21.	„ auf Kirchthürmen	91
„ 22.	Hahn und Drehvorrichtung auf Fangstangen	92
„ 23.	Drehvorrichtung	92
„ 24.	Fangstange für mehrfache Spitzen	93
„ 25.	Erdleitung nach Callaud	117
„ 26.	„ „ „	117
„ 27.	„ „ Ulbricht	119

Seite

Fig. 28. Erdleitung nach Ulbricht 120
„ 29. Befestigung der Fangstange 124
„ 30. „ „ „ 125
„ 31. „ „ „ 126
„ 32. „ „ „ 127
„ 33. „ „ „ 128
„ 34. „ „ „ 129
„ 35. Leitungsträger 130
„ 36. Verbindung der Leitung mit der Fangstange 136
„ 37. „ „ „ „ „ „ 137
„ 38. „ „ „ „ „ „ 138
„ 39. „ „ „ „ „ „ 139
„ 40. „ „ „ „ „ Fangspitze 140
„ 41. „ „ „ „ „ „ 141
„ 42. Verbindungen der Leitungsstücke untereinander . . 143
„ 43. „ zweier Drahtseilenden 146
„ 44. Löthlampe 148
„ 45. Doppellampe 149
„ 46. Vertheilung der Fangstangen 152
„ 47. Verbindung der Leitung mit Rohrleitungen 164
„ 48. Blitzableiter auf einem Gebäude 172
„ 49. „ „ „ Pulvermagazine 180
„ 50. „ „ „ Kirchthurm 182
„ 51. „ „ „ Schornsteine 184
„ 52. „ „ „ „ 185
„ 53. „ „ einer Windmühle 186
„ 54. Leitung nach Snow Harris 191
„ 55. Führung der Leitung auf Schiffen 191
„ 56. „ „ „ „ „ 192
„ 57. Blitzplatte von Meissner 198
„ 58. „ „ Siemens & Halske 200
„ 59. Spitzenblitzableiter von Nottebohm 201
„ 60. Blitzsteg von Kohlfürst 203
„ 61. Spitzenblitzableiter von Bréguet 205
„ 62. „ „ der Triester Telephongesellschaft 206
„ 63. Blitzableiter nach Kerckhof 208
„ 64. Ulbricht's Kohleblitzableiter 210

Seite
Fig. 65. Ulbricht's Kohleblitzableiter 211
„ 66. Blitzableiter bei französischen Bahnen 214
„ 67. Spindelblitzableiter 216
„ 68. Linienblitzableiter 220
„ 69. Blitzableiter auf Telephongestängen 221
„ 70. „ „ „ 222
„ 71. Linienblitzableiter (Süss) 222
„ 72. „ „ 224
„ 73. Blitzableiter für unterirdische Leitungen 225
„ 74. „ „ „ „ 227
„ 75. „ „ Leitungen von Maschinenströmen . 229
„ 76. „ „ „ „ „ . 230
„ 77. Galvanometer von Keiser & Schmidt 238
„ 78. „ „ „ „ „ 239
„ 79. Prüfungsapparat für Blitzableiter 241
„ 80. „ „ „ 242

I. Geschichte der Blitzschutzvorrichtungen.

Blitz und Donner, Elmsfeuer und Nordlicht sind Naturerscheinungen, welche der Aufmerksamkeit der ältesten Völker ebensowenig entgehen konnten, wie jenen Völkern, die gegenwärtig den Erdball bewohnen. Und so finden sich in der That auch in den ältesten Schriften Beschreibungen dieser Erscheinungen, welchen sich später Theorien und Erklärungsversuche anschlossen, bis es endlich im XVIII. Jahrhunderte gelang, die Identität des Blitzes mit dem elektrischen Funken zu erkennen und durch Beobachtung und Experimente zu beweisen. Diese Erkenntniss ist und bleibt eine Errungenschaft der Neuzeit trotz vieler Versuche, die von verschiedenen Seiten unternommen wurden, um den Nachweis einer tiefen Einsicht der Alten in die Gesetze der Natur, speciell der Elektricität, nachzuweisen. Moses soll ein grosser Experimentator gewesen sein, der es verstanden habe, kolossale elektrische Batterien zu construiren, sie mit atmosphärischer Elektricität zu laden und ihre mächtigen Blitze (Entladungsschläge) zur Zähmung oder Bestrafung widerspänstiger Israeliten zu gebrauchen. Die Erbauer des Salomonischen Tempels sollen bereits das Melsens'sche System der vielfachen Spitzenblitzableiter praktisch verwerthet haben. Inder, Perser und Chaldäer hätten bereits verstanden, Gewitterwolken unschädlich zu machen oder zu verjagen u. s. w.

Dies alles und noch mehr wurde von Völkern behauptet, die zu einer Zeit lebten, in welcher über die Natur der elektrischen Erscheinungen selbst die weisesten Männer die wunderlichsten Ansichten hegten. Nachstehend ein Beispiel: **Plinius**[1]) schreibt in Bezug auf das Elmsfeuer: „Es giebt Sterne auf dem Meere und auf dem Lande. Ich selbst sah den Speeren der Soldaten, die Nachts Wache hielten, ein sternähnliches Licht sich anhängen. Auch auf die Segelstangen und andere Theile der Schiffe setzen sie sich mit eigenthümlichem Geräusch, wie Vögel hüpfend von einem Orte zum anderen. Wenn sie einzeln kommen, sind sie verderblich, die Schiffe in den Grund bohrend und, wenn sie auf den Boden gesunken sind, die Kiele entzündend. Als Doppelsterne aber sind sie heilsam, Vorboten einer glücklichen Fahrt. . . . Auch die Häupter der Menschen umleuchten sie in den Abendstunden zu grosser Vorbedeutung." Allerdings setzt Plinius bescheiden hinzu: „Die Ursache aber von allem ist unbekannt, verborgen in der Majestät der Natur."

Bezüglich der Objecte, welche der Blitz verschont oder welche er mit Vorliebe trifft, wurde ebenfalls an vollkommen unbegründeten Angaben starrsinnig festgehalten. So glaubte man, er verschone aus dem Pflanzenreiche den Lorbeer, den Feigenbaum, die weisse Rebe, die Zwiebel und die Trüffel; aus dem Thierreiche die Korallen, die Adler, Robben, Flusspferde, Krokodile, Hyänen und ebenso den schlafenden Menschen, verfolge jedoch die Drachen in der Luft und tödte sie. Plutarch erzählt, dass man die Trüffel als

[1]) Lib. II, cap. 37.

ein Product des Blitzes betrachtete, weil man sie häufig an solchen Stellen in der Erde fände, an welchen der Blitz eingeschlagen hatte. Andere schreiben dem Blitze wieder nur die Eigenschaft zu, die Trüffel anzuzeigen, indem er, ohne letztere zu erreichen, die Erde spalte. Theophrastus, Juvenal und Plinius schreiben das Entstehen der Trüffeln dem Einflusse des Blitzes und Donners zu; ebenso dachte man sich die Entstehung der Perlen in den Muscheln.

Die Inder sollen nach Salverte[1]) Eisenstangen, mit dem zugespitzten Ende gegen den Himmel gewandt, in die Erde gesteckt haben, um Gewitterwolken, Blitz und Hagel abzuwehren. Ohne auf die sehr fragliche Begründung dieser Ansicht näher einzugehen, möge nur erwähnt werden, dass ähnliche Gebräuche ohne speciellen Bezug auf Hagel oder Blitz vielfach herrschten. So schossen die Thraker ihre Pfeile gegen Gewitterwolken ab, die Römer schwangen mit drohender Miene blutige Beile gegen die Wolken, im XV. Jahrhunderte (unserer Zeitrechnung) herrschte noch der Gebrauch, einen blanken Degen auf dem Schiffsmaste zu befestigen, gleichfalls um die Gewitterwolken zu verscheuchen; in späterer Zeit wollte man dasselbe Resultat durch Abfeuern von Kanonen erreichen u. s. w. Es ist wohl einleuchtend, dass aus solchen und ähnlichen Gebräuchen weder eine Kenntniss der Natur des Blitzes, noch eine solche zweckentsprechender Blitzschutzvorrichtungen abgeleitet werden darf. Müsste man sonst nicht auch aus dem Gebrauche des gegenwärtig noch an vielen Orten gepflogenen, wie wir wissen, sinnlosen und oft gefähr-

[1]) Sciences occultes, 2me éd., p. 408.

lichen „Wetterläutens" auf besondere Kenntniss der atmosphärischen Elektricität schliessen oder das Verbrennen geweihter Palmzweige (Weidenkätzchen) als Blitzschutzvorrichtung anerkennen?

Die aus den Eingeweiden der Opferthiere wahrsagenden römischen und etrurischen Priester, die Weisen Griechenlands und Italiens haben zwar viele und interessante Aufzeichnungen über Blitz und verwandte elektrische Naturerscheinungen gemacht, doch keinem der alten Philosophen ist es gelungen, die zusammengehörigen Thatsachen zusammenzufassen und von einem gemeinsamen Standpunkte aus zu beurtheilen. Sie waren nicht im Stande, die Geschwindigkeit des Blitzes auch nur in halbwegs befriedigender Weise zu erklären. Ihnen blieb der Zusammenhang zwischen Blitz, Elmsfeuer und Nordlicht vollkommen unbekannt. Sie wussten nicht, dass diese Erscheinungen im Kleinen experimentell nachgeahmt werden können, und kannten weder die elektrische Anziehung noch die Abstossung. Bis in das Mittelalter hinauf erklärte man Blitz und Donner noch wie Aristoteles durch trockene Ausdünstungen, welche durch die Wolken zusammengepresst und entzündet werden. Hieran wurde nichts gebessert, als Descartes zur Erklärung des Donners und des raschen Herabschleuderns der Blitze annahm: eine höher gelegene Wolke stürze wie eine Lawine auf eine tieferstehende herab und presse hierdurch die „trockenen Exhalationen" mächtig zusammen.

Flavius Josef[1]) beschreibt den Tempel Salomon's als ein ausgedehntes Gebäude, reichlich mit Goldplatten

[1]) Uebersetzt von Arnauld d'Andilly, Édit. d'Amsterdam 1681.

bekleidet und mit ausgebreiteten Verzierungen aus demselben Metalle bedeckt, von welchen zahlreiche Metallröhren in Cisternen führten, welche zur Aufsammlung des Regenwassers bestimmt waren; das „eherne Meer" und die anderen metallenen Wasserbecken, die Erzfiguren und Säulen, die Unmasse metallischer Leuchter und Opfergeräthe u. s. w. bildeten eine sehr erhebliche Ansammlung von Metallmassen. Das Dach des Tempels war mit einer Unzahl von goldenen oder vergoldeten Spitzen versehen. Auf dem Gipfel eines Hügels erbaut, musste der Tempel für den Blitz einen besonders günstigen Anziehungspunkt bilden, und doch konnte während eines tausendjährigen Bestehens kein Blitzschlag nachgewiesen werden, der ihn getroffen hätte; da in seine Construction grosse Mengen von Holz eintraten, hätte ein Blitzschlag sehr leicht zünden und den Tempel zerstören können. Aehnliches ist aber nicht bekannt geworden und daher glauben sich Fischer, Sestier, Méhu u. A. zu der Annahme berechtigt, der Tempel sei mit einem sehr sorgfältig ausgeführten Blitzschutzapparate versehen gewesen, dessen Bestandtheile man in den zahlreichen Spitzen auf dem Dache, in den Metallüberkleidungen und Verzierungen der Wände etc. zu sehen hätte.

Der Annahme, der Erbauer des Tempels hätte zielbewusst auf einen Schutz des Gebäudes gegen Blitzschläge hingearbeitet, stehen aber gewichtige Bedenken entgegen. Zunächst stand der von Flavius beschriebene Tempel gar nicht tausend Jahre, denn der von Salomon erbaute Tempel wurde schon von Nabuchodonosor zerstört; den zweiten baute Zorobabel und den dritten, d. h. jenen, welchen Titus zerstörte, er-

baute Herodes unter der Regierung des Augustus. Wurden nun diese beiden Tempel, auf welche sich die Beschreibung von Flavius nicht bezieht, überhaupt in derselben Weise mit Spitzen, Metallplatten u. s. w. versehen? Auch ist an keiner Stelle irgend eine Andeutung über die Aufgabe der Spitzen etc., als Blitzableiter zu dienen, aufzufinden. Wohl aber sagt Flavius,[1]) dass diese Spitzen, sehr nahe aneinander angebracht, dazu bestimmt waren, die Vögel abzuhalten, welche das prachtvolle Dach beschmutzt hätten.

Wir wollen uns mit diesen Andeutungen des auf zweifelhafte Mythen gegründeten angeblichen Wissens der Alten begnügen und nunmehr unsere Aufmerksamkeit glaubwürdiger, historischer Ueberlieferung zuwenden. Hierin begegnen wir zunächst einem Berichte über Dr. Wall's Arbeiten, die uns der daran geknüpften Bemerkung wegen interessiren. Wall erhielt durch Reiben eines grösseren Stückes Bernstein ziemlich kräftige Funken, so dass er beim Ueberspringen derselben ein Knistern deutlich wahrnahm. Auch beobachtete er vor dem Ueberspringen des Funkens ein Blasen, wie von einem Winde herrührend, und eine ganz empfindliche Wirkung auf die Hand, wenn er auf diese den Funken überschlagen liess. Am Schlusse des Berichtes heisst es: „Dieses Licht und Knistern scheint einigermassen Blitz und Donner vorzustellen."[2])

Diese Ansicht, welche Wall im Jahre 1708 als Vermuthung aussprach, suchte Winkler im Jahre 1746

---

[1]) Th. H. Martin, La foudre, l'électricité et le magnetisme chez les Anciens, p. 313.

[2]) Phil. Trans., Bd. 26, p. 170.

als der Wahrheit entsprechend sicher zu begründen. Letzterer widmete in seiner Schrift: *„Die Stärke der elektrischen Kraft des Wassers in gläsernen Gefässen"*, Leipzig 1746, ein eigenes Capitel der Frage, ob Blitz und Donner dasselbe sei, wie Funke und Knall einer elektrischen Entladung. Nach Anführung einer Reihe von Analogien zwischen beiderlei Erscheinungen kommt er zu dem Schlusse: der Blitz unterscheide sich von dem elektrischen Funken nicht dem Wesen nach, sondern nur in der Stärke. Die atmosphärische Elektricität könne ihre Entstehung der Verdunstung, durch Reiben der Wassertheilchen an festen Körpern verdanken. Er hält auch das Nordlicht bereits für eine elektrische Erscheinung. Winkler bekämpft ferner die Ansicht, dass der Blitz ein Feuer sei, weil häufig beobachtet war, dass Metalle, umgeben von Nichtleitern (z. B. ein Messer in einer Lederscheide) durch den Blitz geschmolzen wurden, während die Nichtleiter unverletzt blieben. Auch Nollet sprach sich im Jahre 1743 in seinen *„Leçons de physique expérimentale"* für die Gleichheit von Blitz und elektrischem Funken aus.

Auf Grund des Verhaltens elektrischer Funken und des mit ihnen identischen Blitzes Blitzschutzvorrichtungen zu erdenken, war jedoch **Benjamin Franklin** einerseits und **Prokop Divisch** andererseits vorbehalten. Während aber die Arbeiten und Experimente Franklin's rasch allgemein bekannt wurden und ungeheures Aufsehen erregten, hatte Divisch gegen Anfeindungen jeder Art zu kämpfen.

Nachdem Franklin bereits im Jahre 1747 die Spitzenwirkung richtig erkannt hatte, sprach er den

Gedanken, jene zur Construction von Blitzableitern zu verwenden, zum erstenmale in einem vom 29. Juli 1750 datirten, an Collinson gerichteten Briefe aus, worin es zum Schlusse heisst:[1])

„. . . Wenn es sich so verhält, könnte nicht unsere Kenntniss von der Kraft der Spitzen dem menschlichen Geschlechte von Nutzen sein, um Kirchen, Häuser, Schiffe vor dem Blitzschlage zu bewahren, indem es uns dazu führte, auf den höchsten Theilen dieser Gebäude aufrecht stehende eiserne Stangen zu befestigen, die so scharf wie eine Nadel gemacht und, um den Rost abzuhalten, vergoldet sind? Von dem Fusse dieser Stangen müsste ein Draht an der Aussenseite der Häuser heruntergeleitet werden bis in den Grund oder bei Schiffen an dem Tauwerke bis zum Wasser. Diese spitzen Stangen würden wahrscheinlich das elektrische Feuer einer Wolke ganz geräuschlos weit früher ableiten, als dieselbe nahe genug zum Schlagen käme, und würde uns dadurch vor diesem plötzlichen und schrecklichen Unglücke bewahren."

Franklin selbst giebt für die Abfassung obiger Zeilen das Jahr 1749 an. Bevor er jedoch an die Ausführung seines Planes schritt, sollte erst die Identität zwischen Blitz und elektrischem Funken durch exacte Experimente bewiesen werden. Er schlug zu diesem Zwecke vor, auf einem höher gelegenen Punkte eine Art Schilderhäuschen zu errichten, aus diesem eine oben zugespitzte Eisenstange emporragen zu lassen und an dem unteren, im Häuschen befindlichen Ende der Stange den elektrischen Zustand derselben zu untersuchen. Nach seiner Ver-

[1] News Experiments and Observations on Elect., p. 65.

muthung müsste dann in Folge der Spitzenwirkung die Stange elektrisch werden, sobald eine Gewitterwolke über das Häuschen zieht. Doch auch zu diesen Versuchen kam Franklin erst später, da er zunächst sein Streben darauf richtete, die künstlich erzeugte elektrische Kraft zu verstärken, um in solcher Weise Blitz und elektrischen Funken einander ähnlicher zu machen.

Es kamen ihm daher mit der Ausführung des Versuches zwei Franzosen, **Dalibard** und **Delor** zuvor, die nach seiner Angabe 13, beziehungsweise 32 Meter hohe, oben zugespitzte Eisenstangen aufstellten. Als nun am 10. Mai 1752 ein Gewitter aufstieg, zog in Abwesenheit Dalibard's dessen Wächter Coiffier ansehnliche Funken aus der Eisenstange; am 19. Mai desselben Jahres zog Delor aus seiner 32 Meter hohen Stange Funken. Die Identität von Blitz und elektrischem Funken war somit erwiesen.

Nachdem Franklin auf die Vollendung einer Kirchthurmspitze längere Zeit vergeblich gewartet hatte, führte er endlich im Juni 1752 durch das bekannte Experiment mit dem Drachen den Nachweis für die elektrische Natur des Blitzes. Ein Drache, wie solche noch heute ein beliebtes Spielzeug für Kinder bilden, wurde mit einer Spitze aus Eisendraht versehen und beim Herannahen eines Gewitters steigen gelassen. An das Ende der Hanfschnur hatte Franklin einen Schlüssel geknüpft und dieser selbst wurde unter Vermittlung einer Seidenschnur gehalten. Zunächst wollten sich keinerlei elektrische Erscheinungen zeigen; als aber Regen fiel und dadurch die Hanfschnur durchnässt wurde, konnte Franklin Funken aus dem Schlüssel ziehen und hiermit die elektrische Natur des Blitzes nachweisen.

Noch im September desselben Jahres errichtete er auf seinem Hause eine Wetterstange, verbunden mit einem elektrischen Glockenspiele zur selbstthätigen Anzeige elektrischer Ladungen. Mit Hilfe dieser Vorrichtung setzte er seine Beobachtungen fort und fand hierbei auch, dass die Gewitterelektricität fast immer negativ sei; am 6. Juni 1753 wies er aber positive Elektricität nach.

In Deutschland hatte unabhängig von Franklin bereits Winkler in der kleinen Abhandlung: *Programma de avertendi fulminis artificio* 1753 die Aufstellung von Blitzableitern empfohlen und Vorschriften hiefür gegeben und „muthmasslich in Folge dessen wurde schon ein Jahr darauf, 1754, der erste Blitzableiter bei uns wirklich ausgeführt. Diesen ersten Blitzableiter in Deutschland und zugleich in Europa errichtete **Procopius Divisch**, Prämonstratenser-Chorherr und Pfarrer zu Prenditz bei Znaim in Mähren, an seinem Wohnorte". So berichtet Poggendorff[1]) und schrieben nach ihm Hoppe, G. Albrecht u. A. Dem ist aber nicht so; Divisch hat nicht nur ohne Anregung durch Winkler den ersten Blitzableiter thatsächlich aufgestellt, sondern denselben gleich Franklin und unabhängig von letzterem selbstständig erfunden. Dies ist in einer Abhandlung von Dr. Jul. Friess, betitelt: *„Prokop Divisch". Ein Beitrag zur Geschichte der Physik,*[2]) auf Grundlage unanfechtbarer Documente sicher nachgewiesen worden.

[1]) Geschichte der Physik von J. C. Poggendorff, p. 867. — Geschichte der Elektricität von E. Hoppe, p. 41. — Geschichte der Elektricität mit Berücksichtigung ihrer Anwendungen von Dr. G. Albrecht, p. 92.

[2]) Die äusserst interessante Abhandlung, aus welcher wir nur wenige Zeilen mittheilen können, ist in dem Programm der k. k. Staats-Oberrealschule in Olmütz 1883/4 veröffentlicht.

Prokop Divisch wurde am 1. August 1696 zu Senftenberg in Böhmen geboren, studirte Theologie und wurde im Jahre 1726 zum Priester geweiht. Er hatte zunächst das Lehramt für Naturwissenschaften und Philosophie an der Klosterschule der Prämonstratenser zu Bruck zu versehen und musste später auch Theologie vortragen; er versah beide Aemter zur vollen Zufriedenheit seiner Vorgesetzten. Im Jahre 1733 wurde er auf Grund einer Dissertation von der Universität in Salzburg zum Doctor der Gottesgelehrtheit und Weltweisheit ernannt. Drei Jahre darauf erhielt er die kleine Pfarre zu Prenditz unweit Znaim in Mähren, wo er seine Mussestunden mit physikalischen Studien zubrachte. Zur Zeit des ersten schlesischen Krieges wurde er in das Kloster zurückberufen, da man in so schweren Zeiten eine so hervorragende Kraft wie Divisch nicht entbehren konnte; er versah daselbst die Stelle eines Priors bis zur Beendigung des Krieges und kehrte im Jahre 1745 wieder auf seine Pfarre in Prenditz zurück, wo er sich neuerdings physikalischen Studien hingab. Aufsehen erregten ein von ihm erfundenes musikalisches Instrument, das Denisdor, und seine elektrischen Curen. Letztere zogen ihm aber auch eine grosse Anzahl von Neidern und Feinden zu. Erst nach vielen Misserfolgen und Kämpfen gelang es ihm im Jahre 1765, seine *„Magia naturalis"* im Auslande (in Tübingen) auszugsweise in Druck zu bringen. Im selben Jahre am 21. December starb Divisch.

Wie gelangte nun Divisch zur Erfindung seines Blitzableiters? Seine elektrischen Versuche waren bekannt geworden und hatten so bedeutendes Aufsehen erregt, dass er im Jahre 1750 nach Ostern an das kaiserliche

das Kreuz befestigt war und dieses sammt der Kette herabschleuderte. Als dies geschehen war, entlud sich auch das Gewitter sofort. Auf eine andere Beobachtung werden wir noch gelegentlich der Besprechung der Spitzenwirkung zurückkommen. Auf die Theorie, welche sich Divisch für die elektrischen Erscheinungen gebildet hat, hier näher einzugehen, verbietet uns leider der beschränkte Raum. Wir verweisen diesbezüglich nochmals auf die sehr lesenswerthe Abhandlung von Professor Dr. Jul. Friess. Beim Lesen derselben geräth man in lebhaftes Erstaunen, wenn man erfährt, mit welchen Mitteln und welcher Beharrlichkeit die Feinde unseres Divisch diesen und seine Erfindungen und Arbeiten bekämpft haben und man begreift, dass unter solchen Umständen Divisch jener Erfolg versagt bleiben musste, den durch dieselbe Erfindung, allerdings in viel einfacherer Form, Franklin errang.

In der Nacht des 10. März 1760 rissen die aufgehetzten Bauern die Ketten gewaltsam von den Pflöcken und beschädigten die Stange des Kreuzes; ein zufällig unmittelbar darauf losgebrochener Sturm vollendete das Zerstörungswerk, indem das Kreuz ganz hinabgestürzt wurde. Die Wiederaufrichtung unterblieb auf Anrathen des Prälaten Hermenegild Mayer und die Maschine wurde nach Bruck gebracht. Auch als später heftige Gewitter in den Weinbergen und auf den Feldern grossen Schaden anrichteten, verlangten die Pfarrkinder Divisch' vergebens die Wiederaufstellung der Maschine.

Divisch wandte sich aber auch an seinen hohen Gönner, Kaiser Franz, mit dem Vorschlage, in verschiedenen Gegenden seine Wetterableiter aufzustellen, vergebens, da die Wiener Mathematiker weder die

Möglichkeit noch den Nutzen der Maschine einsehen konnten. Da Divisch überdies keine Beschreibung seiner Maschine veröffentlichte (dies geschah erst später durch Pelzel), so wurde diese wenig bekannt und beachtet.

Franklin's Vorschläge und Versuche wurden hingegen allgemein bekannt, allgemein nachgemacht und bewundert. Immerhin scheint Franklin, abgesehen von der bereits erwähnten Aufstellung einer Wetterstange auf seinem eigenen Hause, erst im Jahre 1760 (also ungefähr sechs Jahre nach Divisch) den ersten Blitzableiter, und zwar auf dem Hause des Kaufmannes West in Philadelphia, errichtet zu haben.

Bevor wir die Geschichte des Blitzableiters weiter verfolgen, haben wir noch einiger Forscher zu gedenken, die sich gleichfalls mit dem Studium der Gewittererscheinungen befassten. So hatte z. B. Le Monnier (zu St. Germaine-en-Laye) schon im Jahre 1752 durch seine Versuche nachgewiesen, dass die Luft auch bei Abwesenheit von Gewittern elektrisch sei, und hat daher dieser Physiker als der Entdecker der Luftelektricität zu gelten.[1]) Im selben Jahre führten Canton, Wilson und Bevis ähnliche Versuche mit Erfolg durch.

Hervorragend durch mächtige Wirkung sind jene Versuche, welche De Romas, Assessor beim Landgericht zu Nerac im südlichen Frankreich, unternahm. Gleich Franklin gerieth auch er auf die Idee, mit Hilfe eines Drachen die Elektricität der Luft herabzuleiten; er verfertigte sich zu diesem Behufe einen Drachen von sehr bedeutenden Dimensionen und erhielt schreckenerregende Wirkungen. Der Drache besass bei einer

[1]) J. C. Poggendorff, Geschichte der Physik, p. 872.

Breite von 3 Fuss eine Höhe von 7½ Fuss und wurde an einer Schnur steigen gelassen, welche mit Eisendraht durchflochten war. Das untere Ende der Schnur war, um Unglücksfälle zu vermeiden, aus Seide angefertigt. Als dieser Drache am 7. Juli 1753 550 Fuss hoch gestiegen war, hörte man das Knistern der aus der Schnur gezogenen Funken 200 Schritte weit. Die in einem Blechrohre endigende Schnur richtete Strohhalme auf und liess sie wie beim elektrischen Puppentanze herumtanzen. Der längste Strohhalm wurde dann plötzlich angezogen und unter donnerähnlichem Knalle erschien eine Feuermasse, die auf 8 Zoll Länge bei einer Breite von ½ Zoll geschätzt wurde. Bei Wiederholung dieser Versuche am 26. August 1756 erschienen binnen einer Stunde 30 Feuerstreifen, deren jeder 1 Zoll dick und 10 Fuss lang gewesen ist.

Die allseitig mit grossem Eifer unternommenen gefährlichen Versuche sollten leider auch ein Opfer fordern. Professor **Richmann** in Petersburg hatte eine isolirte Eisenstange aufgestellt, deren unteres Ende in sein Studirzimmer reichte. Am 6. August 1753 befand sich Richmann eben in einer Sitzung, als ein Gewitter aufstieg. Er begab sich sofort nach Hause, um den elektrischen Zustand seines Apparates zu untersuchen. Als er sich zu diesem Zwecke der Stange näherte, fuhr aber aus dieser ein Feuerball gegen seinen Kopf und streckte ihn augenblicklich todt zu Boden. Der gleichzeitig anwesende Kupferstecher Sokoloff stürzte gleichfalls zusammen, erholte sich aber nach einiger Zeit wieder.

Das tragische Schicksal Richmann's war jedoch nicht im Stande, andere Forscher von weiteren Ver-

suchen abzuhalten. So verdankt man **Beccaria** (Giacomo Battista), welcher 1716 bis 1781 lebte, eine grosse Anzahl wichtiger Beobachtungen und Versuche. Beccaria wirkte in Turin als Professor der Physik und veröffentlichte seine Arbeiten unter dem Titel: *„Dell' elettricismo naturale ed artificiale"* (Torino 1753) und *„Dell' elettricità terrestre atmosferica a cielo sereno"* (1775). Wir werden bei Betrachtung der Spitzenwirkung Gelegenheit haben, über Beccaria's Versuche Näheres zu erfahren. Hier mag nur erwähnt werden, dass er bestrebt war, eine allgemeine Theorie der meteorologischen Erscheinungen zu begründen und hierin nicht nur die Gewittererscheinungen und das Nordlicht, sondern auch Regen, Schnee und Hagel, ja selbst die Meteore, Wasserhosen, Wirbelwinde und das Erddeben einbezog und alles als Vorgänge elektrischer Natur darzustellen trachtete.

Nicht minder eifrig arbeiteten Tiberio Cavallo (1749 bis 1809) und Mazéas 1753 an der Erforschung der atmosphärischen Elektricität. Ihnen verdanken wir viele Daten über diese und den Zusammenhang derselben mit den übrigen meteorologischen Verhältnissen. Doch kehren wir nun wieder zur Geschichte des Blitzableiters zurück. Nachdem Franklin, wie bereits erwähnt, im Jahre 1760 seinen ersten Blitzableiter aufgestellt hatte, errichtete Watson im Jahre 1762 zu Payneshill in England einen Blitzableiter und hierauf folgten mit der Errichtung von Blitzableitern im Jahre 1769 Johann Albert Heinrich Reimarus und im Jahre 1771 Saussure in Genf. Im Jahre 1782 befanden sich auf den 1300 Häusern von Philadelphia schon mehr als 400 Blitzableiter.[1])

[1]) G. Albrecht, Geschichte der Elektricität, p. 92.

Sowohl Franklin als auch Divisch, Beide wurden durch das Studium der Spitzenwirkung auf die Idee des Blitzableiters gebracht. Beide betrachteten letzteren nicht als einen rein passiven, sondern einen offensiven Apparat. Die Aufgabe des Blitzableiters bestünde nicht blos darin, einen ihn zufällig treffenden Blitzschlag gefahrlos abzuleiten, sondern der Blitzableiter hätte vielmehr auch, vermöge seiner Saugwirkung, die Elektricität der Wolke zu vernichten, letztere gewissermassen zu entwaffnen. Somit war es selbstverständlich, dass man hohe spitze Stangen in Anwendung brachte.

Als nun aber ein Blitzschlag ein Pulvermagazin zu Brescia in die Luft sprengte, zeigte sich, dass die Anwendung der Spitzen auf Gegnerschaft stosse. Der Generalstab der englischen Artillerie sah sich nämlich veranlasst, an die königliche Gesellschaft mit dem Ersuchen heranzutreten, sie möge sich gutachtlich über den besten Schutz der Gebäude durch Blitzableiter äussern. Die Gesellschaft wählte im Jahre 1772 einen Ausschuss, bestehend aus Cavendish, Franklin, Robertson, Watson und Wilson. Während sich nun die vier erstgenannten Mitglieder für die Anwendung der spitzen Ableiter aussprachen, empfahl Wilson stumpfe und schrieb 1773 sogar eine lange Abhandlung über diesen Gegenstand, die Ansicht vertretend: spitze Ableiter seien verwerflich, da sie den Blitz anziehen, und so eine gefährliche Materie solle man nicht zum Besuche einladen. Wilson trat um so energischer für seine Ansicht ein und suchte sie durch Experimente zu stützen, als der Blitz im Jahre 1777 das mit spitzen Blitzableitern versehene Schiffsmagazin zu Purfleet traf. Als Gegner Wilson's trat der Mechaniker Edward

Nairne in London auf, widerlegte des Ersteren Ansichten und beendigte dadurch den Streit. Die Ergebnisse der Versuche und Discussionen wurden von Reimarus zusammengestellt in den beiden Schriften: *„Vom Blitze, aus praktischen Erfahrungen"*, 1778, und *„Neuere Bemerkungen vom Blitze"*, 1794.

Von dieser Zeit an gewannen die Blitzableiter fortwährend an Verbreitung und erfuhren, den inzwischen gesammelten Erfahrungen entsprechend, auch verschiedene Veränderungen. Letztere beschränken sich aber bis auf den heutigen Tag nur auf die Ausführung der Anlage eines Blitzableiters, lassen hingegen die Hauptanordnung derselben unberührt. Im Jahre 1823 fasste Louis Josef Gay-Lussac über Auftrag der französischen Akademie alle Verbesserungen zusammen und veröffentlichte in Form einer Denkschrift seine Instructionen zur Errichtung von Blitzableitern.[1]) Ein neuerliches Gutachten erschien im Jahre 1855 von Pouillet, veranlasst durch den Bau des Industriepalastes für die erste Weltausstellung in Paris. In England erwarb sich Snow Harris besondere Verdienste durch seine gründlichen Arbeiten, speciell die Bewaffnung der Schiffe gegen Blitz betreffend.

Da die Arbeiten der letztgenannten Physiker zum grossen Theile noch nach dem gegenwärtigen Stande der Wissenschaft Giltigkeit besitzen, werden wir in den nachstehenden Abschnitten wiederholt auf sie zurückkommen müssen.

---

[1]) Annales de Chimie et de Physique, T. 26; 1824.

II. Elektrischer Funke und Blitz.

Blitz und elektrischer Funke sind identische Erscheinungen. Obgleich wir selbst mit unseren kräftigsten Maschinen nur Funken von etwa 1 Meter Länge hervorrufen können, während die Blitzstrahlen 200 bis 1000 Meter Länge, nach einigen Beobachtern sogar 10.000 Meter Länge hin und wieder erreichen sollen, also letztere die ersteren an Mächtigkeit weitaus übertreffen, so wird doch das Studium der elektrischen Erscheinungen im physikalischen Laboratorium immerhin dazu ausreichen, wichtige Anhaltspunkte zur Beurtheilung der Erscheinung und Wirkungsweise der Blitze zu geben. Es wird daher auch am Platze sein, nicht sofort die Blitzschutzvorrichtungen zu besprechen, sondern vorerst die hierher gehörigen Erscheinungen und Gesetze der Elektricität überhaupt in das Gedächtniss zurückzurufen. Wir haben uns also zunächst zu beschäftigen mit dem Verhalten elektrischer Körper gegen andere elektrische oder unelektrische Körper, mit der Vertheilung und Leitung der Elektricität und mit den hierbei auftretenden Erscheinungen.[1])

1. Sitz der Elektricität.

Gleichnamig elektrische Theilchen stossen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. Setzt man einen elektrischen Körper mit einem unelektrischen in leitende Verbindung, so muss daher dieses Bestreben der gleichnamig elektrischen Theilchen, sich möglichst weit von

[1]) Ausführliches hierüber findet man in den Bänden IX, XIX, XXII und XXIII der Elektro-technischen Bibliothek.

einander zu entfernen, dahin führen, dass sie sich über die verbindende Leitung und den ursprünglich unelektrischen Körper verbreiten, d. h. also, auch dieser Körper wird elektrisch. Er wird diesen Zustand um so rascher annehmen, je geringer der Widerstand ist, welchen die beiden Körper und der verbindende Leiter der Bewegung entgegensetzen, je geringer also ihr Leitungswiderstand ist.

Die zwischen gleichnamig elektrischen Theilchen wirkende Abstossungskraft hat aber auch noch eine andere Erscheinung zur Folge. Der Körper kann, wenn er ein sogenannter Leiter ist, also der Fortpflanzung der Bewegung einen geringen Widerstand entgegensetzt, nicht in seinen inneren Theilen, sondern nur an der Oberfläche elektrisch sein, weil nur an der Oberfläche des Körpers die elektrischen Theilchen so weit von einander entfernt sind, als es die gegebenen Verhältnisse überhaupt gestatten. Somit ist die Oberfläche der Körper als der Sitz der Elektricität zu betrachten. Es ist vielleicht nicht unnütz zu bemerken, dass dies nur von der ruhenden Elektricität, wenn dieser Ausdruck gestattet wäre, d. h. von dem bereits geladenen Leiter gilt, auf welchem sich die zwischen den einzelnen elektrischen Theilchen wirkenden Abstossungskräfte bereits ins Gleichgewicht gesetzt haben, nicht aber von dem Ladungsvorgange selbst, d. h. von der Mittheilung des elektrischen Zustandes von Seite eines elektrischen Körpers an einen ursprünglich unelektrischen. Ersteres ist eine statische Erscheinung, letzteres ein dynamischer Vorgang.

Es ist hier nicht der Ort, sämmtliche experimentellen Beweise für das angegebene Verhalten der Elek-

tricität zu schildern, und daher müssen wir uns an dieser Stelle damit begnügen, nur jene Experimente in den Kreis unserer Betrachtungen zu ziehen, welche zu der Anlage von Blitzschutzvorrichtungen in directer Beziehung stehen. So liess sich z. B. bereits **Faraday** ein grosses Holzgerüste in Form eines Würfels herstellen, verband die Kanten desselben durch Netze aus Kupferdraht und überklebte seine Flächen mit Papier und darüber mit Stanniol. Die in solcher Weise verfertigte Kammer mit gut leitenden Wänden wurde in einen grossen Saal gestellt und Faraday begab sich, mit einem empfindlichen Elektroskope in der Hand, in das Innere der Kammer. Sodann liess er letztere so stark als möglich elektrisiren und untersuchte mit Hilfe des Elektroskops den elektrischen Zustand im Innenraume. Es gelang ihm an keiner Stelle, auch nur eine Spur von Elektricität nachzuweisen.

In neuerer Zeit wurden solche und ähnliche Versuche von Melsens, Zenger, Mach und dem technisch-administrativen Militärcomité in Wien ausgeführt.[1]) Melsens stellte sich aus Metalldrähten einen Käfig her, schloss in demselben Thiere ein und leitete dann den Entladungsschlag einer kräftigen Leydener-Batterie auf den Käfig. Das eingeschlossene Thier blieb

---

[1]) Melsens, des paratonnerres à pointes, à conducteurs et à raccordements terrestres multiples. Brüssel 1877. Paratonnerres, Notes et commentaires par Melsens, Bericht von Rousseau über die Pariser Ausstellung (1881), Brüssel 1882.

Zenger, Elektro-technische Bibliothek Bd., XIX.

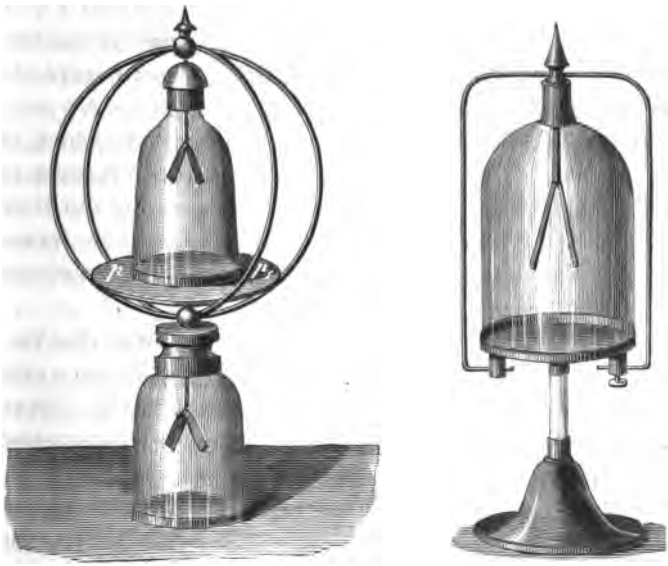
Mach, La lumière électrique, T. XII, p. 104.

Ph. Hess: Ueber einige Blitzschutzmassregeln für besondere Fälle. Mittheilungen für Artillerie und Geniewesen.

unverletzt, selbst dann, wenn es mit den Metalldrähten in Berührung stand.

Zenger, welcher sein Blitzschutzsystem ähnlich wie Melsens anlegt, stützt sich auf die Thatsache, dass eine metallische Hohlkugel durch Elektrisirung nur auf ihrer Oberfläche elektrisch wird und dann auf innerhalb

Fig. 2.



befindliche Körper keinerlei elektrische Wirkung ausübt. Er beweist dies in nachstehender Art.

„Ein empfindliches Elektroskop ist mit 2 oder 4 symmetrisch zu den Goldblättchen, welche gleichsam die Achse eines Rotationskörpers, einer Kugel oder eines Paraboloides u. s. w. bilden, angeordneten Leitungsdrähten umgeben, welche an der Metallplatte *pp* (Fig. 2)

befestigt sind. Von dieser Platte gehen Leitungsdrähte zu einem zweiten Elektroskop, aus einer Glasflasche gebildet, welche den isolirenden Fuss des Apparates darstellt."

„Nähert man dem Knopfe oder den Leitungsdrähten oder der Platte pp_1 eine geriebene Glasstange, so findet keine Spur elektrischer Einwirkung an dem oberen durch die symmetrisch angeordneten Leiter geschützten Elektroskope statt, während am unteren die Blättchen kräftig divergiren. Aber auch die kräftigsten Funken einer Elektrisirmaschine oder eines grossen Ruhmkorff'schen Inductoriums bringen nicht die mindeste Wirkung auf die Goldblättchen des oberen Elektroskopes hervor, während die Blättchen des unteren Elektroskopes zerstört werden."

Hierauf beruht die Construction der symmetrischen Blitzableiter, welche Zenger seit 1870 in grösserer Anzahl praktisch ausgeführt hat.

„Die elektrische Wolke repräsentirt die Condensatorplatte des Ruhmkorff'schen Inductoriums, welche Funken bis zu $^1/_2$ Meter Länge von solcher Intensität giebt, dass sie tödtlich auf den Menschen einwirken würde. Dadurch, dass die Condensatorplatte über beide Elektroskope senkrecht schwebt, wird derselbe Inductionsvorgang eintreten wie bei einem Gewitter, wenn die Bodenleitung des Blitzableiters fehlt oder mangelhaft functionirt, das Haus also vom Boden isolirt erscheint. Zwischen Spitze und Object entstehen kräftige Funken, die jedoch auf das obere Elektroskop, welches von den kreisförmigen Kupferdrähten umhüllt ist, vollkommen wirkungslos sind, während die Goldblättchen am unteren unbeschützten Elektroskope sogleich zerstört werden."

„Die beiden Drähte verhalten sich also gerade wie die Kugel, die Wirkung der blos auf ihrer Oberfläche angesammelten Elektricität nach innen ist Null, afficirt aber die nach aussen liegenden Goldblättchen des unteren Elektroskopes mit ihrer vollen Intensität. Denken wir uns das obere Elektroskop weggenommen und einen Menschen in die symmetrische Glasumhüllung gestellt, so wird er vor den heftigsten Entladungen, so lange diese nicht im Stande sind, den Draht zu schmelzen oder zu zerstören, vollkommen gesichert sein."

„Diese Immunität hört jedoch auf, sobald die Leitung der Drähte durch Zerreissung oder sonstwie aufgehoben, oder wenn die Elektricitätsquelle (etwa ein geriebener Kautschukstab) zwischen die Drahtumhüllung und das Gefäss, welches die Goldblättchen des oberen Elektroskopes umhüllt, isolirt eingeführt wird, weil sich nun die Innenseite durch Induction ladet."[1])

Die Versuche im **Wiener Militärcomité** wurden dadurch veranlasst, dass sich die gewöhnlichen Blitzableiter auf den Bauten am Karstgebirge, wo die Herstellung einer ausreichenden Erdleitung des felsigen Grundes wegen sehr erschwert oder ganz unmöglich ist, als gänzlich unzulänglich erwiesen. Hier schien es zweckmässig, sich des von Zenger angegebenen symmetrischen Blitzableitersystemes zu bedienen. Da aber die Anlage eines symmetrischen Leitersystemes auf Gebäuden von häufig unregelmässiger Form, die noch überdies grosse Metallmassen (Munition) enthalten, nicht selten auf erhebliche Schwierigkeiten stösst, so wollte

[1]) Zenger: Ueber Blitzableiterconstructionen, Internationale Ausstellungszeitung, Wien 1883.

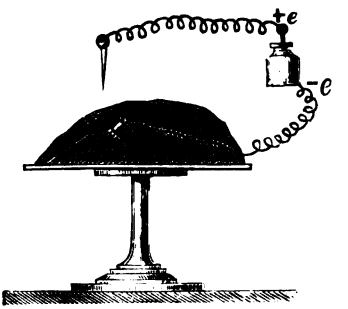
man sich vorerst durch Experimente darüber Aufklärung verschaffen, ob der Schutz der in eine Art Metallkäfig eingeschlossenen Magazine deshalb zu erreichen sei, weil die statische Elektricität sich nur auf der Oberfläche der Leiter verbreitet oder dadurch, dass bei symmetrischer Anordnung der Leiter um das zu schützende Object keine elektrische Einwirkung nach innen zu stattfindet.

Als Elektricitätsquelle kam bei den betreffenden Versuchen theils eine grosse Reibungselektrisirmaschine mit Leydener Flasche (Oberfläche der zwei mit Amalgam geriebenen Scheiben = 1 Quadratmeter, Condensatorfläche = 0·72 Quadratmeter), theils ein normaler Feldzündapparat der Genietruppe, theils ein kleinerer Projectszündapparat ähnlicher Construction zur Verwendung. Als Versuchsobject dienten Spaltzünder für Reibungselektricität (sogenannte Versuchszünder), Zünder mit gespaltener Graphitbrücke für Inductionsströme von sehr geringer Stärke und ein Goldblattelektroskop. Zur Charakterisirung der Empfindlichkeit der empfindlichsten Graphitzünder führt Hess (l. c.) an, dass sie noch von Inductionsströmen gezündet werden, deren Intensität gerade gross genug ist, um von menschlichen Nerven wahrgenommen zu werden. Die Schutzgehäuse bildeten eine Büchse aus Weissblech, ein parallelopipedisches, mit Eisendrahtnetz überzogenes Holzplattengestell oder eine unregelmässig geformte, unten offene Haube aus Drahtnetz.

Von den zahlreichen Versuchen mögen nachstehend einige kurz mitgetheilt werden. In die unten offene Drahthaube (Fig. 3) wurde ein sehr empfindlicher Zünder in möglichst unsymmetrischer Lage angeordnet

und nun der Entladungsschlag der Leydener Flasche auf die Haube geführt. Der Zünder wurde hierbei frei auf den Boden oder auf eine Hartgummiunterlage gelegt oder man verband die Zünddrähte in der durch die Figur angedeuteten Weise mit der Drahthaube. In keinem dieser Fälle gelangte der Zünder zur Explosion; dieses Resultat wurde auch nicht geändert, wenn an Stelle der Leydener Flasche der Feldzündapparat oder ein Inductorium zur Verwendung kam. Diese und ähnliche Versuche konnten jedoch die Frage, ob der Schutz der Ausbreitung der Elektricität auf der Oberfläche oder der Umhüllung des Zünders durch gute Elektricitätsleiter bewirkt werde, nicht entscheiden, da ebenso der durch die Haube bewirkte kurze Schluss diesen Effect ausüben konnte. Diese Möglichkeit auszuschliessen, mussten weitere Versuche gemacht werden.

Fig. 8.



Einer dieser Versuche bestand darin, dass man einen Feldzündapparat kurz schloss und einen Zünder ohne Schutzvorrichtung in einem Nebenschlusse anordnete. Nach etlichen Umdrehungen der Scheibe explodirte der Zünder, trotzdem der kurze Schluss möglichst vollständig gemacht war. Also war der kurze Schluss allein nicht im Stande, den Zünder zu schützen. Dieses Resultat ergab sich auch aus Versuchen, bei welchen die durch das Schema (Fig. 4) angedeutete Anordnung getroffen wurde. Hierbei befand sich ein Zünder *Z*

innerhalb des Drahtgehäuses und ein ungeladener Zünder Z_1 ausserhalb des Gehäuses; die Verbindungsweise mit der Leydener Flasche ist aus der Figur ersichtlich. Bei den zahlreichen in dieser Art ausgeführten Versuchen wurde in der Zündspalte von Z_1 stets der Funke beobachtet, während Z nie zur Explosion gelangte.

Es ist nothwendig, an dieser Stelle ganz ähnlicher, von **Mach**[1]) längere Zeit vorher ausgeführter Versuche zu gedenken, welche jedoch Hess vor Ausführung der eben beschriebenen Versuche nicht zur Kenntnis gelangt

Fig. 4.

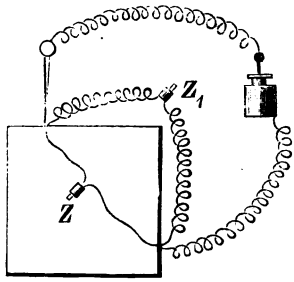
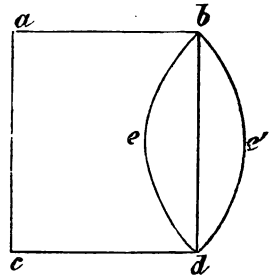


Fig. 5.



waren. Mach benützte einen würfelförmigen Drahtkorb, dessen Querschnitt durch *a b c d* in Fig. 5 dargestellt ist. Dieser Drahtkorb stand auf einem Blatte Stanniol *c d* und das Ganze war isolirt aufgestellt. Auch wurde anstatt des Drahtkorbes ein eben solcher aus Goldpapier versucht. In beiden Fällen gab ein im Inneren des Korbes aufgestelltes, empfindliches Elektroskop keinerlei Anzeigen, auch wenn der Korb noch so stark geladen war. Mach stellte nun einen Nebenschluss *b e d* durch

[1]) Mach, l. c., und Zeitschrift d. elektrotechnischen Vereins in Wien, I, p. 83.

einen 1 Millimeter starken Draht her, welcher bei *c* entzweigeschnitten und an den hierdurch gebildeten Enden mit Spitzen (Nadeln) versehen wurde. Zwischen beiden Spitzen befand sich Knallsilber. Dieses kam nicht zur Explosion, wenn auch die kräftige Entladung einer Leydener Flasche auf den Drahtkorb geleitet wurde. Die Explosion kam aber auch dann nicht zu Stande, wenn derselbe Nebenschluss bei sonst unveränderter Anordnung nach *b* e_1 *d*, also ausserhalb des Drahtkorbes verlegt wurde.

Machte man hingegen dieselben beiden Versuche unter Anwendung des Goldpapierkastens, so erfolgte die Explosion mit Sicherheit jedesmal, gleichgiltig ob die Nebenschliessung ausserhalb oder innerhalb des Kastens angebracht war. Die beiden Versuchsreihen unterscheiden sich also auch dadurch von einander, dass in der ersten ein Leiter von geringerem Widerstande (der Drahtkorb) und im zweiten Falle ein Leiter von grossem Leitungswiderstande (der Goldpapierkasten) die Entladungsschläge aufnahm. Es folgt hieraus, dass es nicht genügt, nur das Princip der Oberfläche in Betracht zu ziehen, dass vielmehr auch die Leitungsfähigkeit eine Rolle spielt.

Es stehen diese Experimente keineswegs im Widerspruche mit der nie bezweifelten Thatsache, dass der Sitz der Elektricität die Oberfläche des Leiters sei und dass die Ladung eines Leiters z. B. einer Messinghohlkugel nach innen keinerlei elektrische Wirkung ausüben kann. Man muss aber bedenken, wie auch Mach erwähnt, dass der Entladungsschlag einer Leydener Flasche und dergleichen kein so ganz einfacher Vorgang ist, dass vielmehr hierbei sowohl statische als auch dyna-

mische Erscheinungen eintreten. Statische Wirkungen finden innerhalb eines Leiters, also der Drahtkörbe, allerdings keine statt, weshalb auch das Elektroskop keine Anzeichen giebt. Dynamische Wirkungen können aber eintreten, da der Entladungsschlag selbst eine Bewegung der Elektricität (wenn der Kürze halber diese Bezeichnung gebraucht wird), also ein dynamischer Vorgang ist. Für diesen gilt aber nicht mehr das Oberflächengesetz, hier kommt der Querschnitt, beziehungsweise die Leitungsfähigkeit in Betracht.

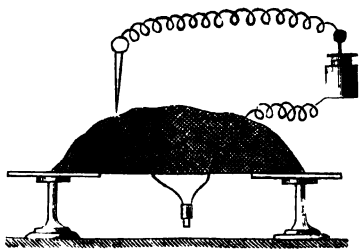
Von diesem Standpunkte aus ergiebt sich für die durch Fig. 4 erläuterten Versuche folgende Betrachtung: Dem Entladungsschlage der Leydener Flasche stehen von der Spitze aus drei Wege zur Verfügung, nämlich über den Zünder Z_1, über den Drahtkorb und über den Zünder Z.

Ob nun auch durch den dritten Weg genügend Elektricität überströmt, um den Zünder zur Explosion zu bringen oder nicht, scheint nach Mach's Versuchen davon abzuhängen, in welchem Verhältnisse die Leitungsfähigkeiten der drei Wege, beziehungsweise die Metallmassen auf denselben unter Voraussetzung sonst gleicher Umstände zu einander stehen. Es will uns auch bedünken, dass Mach's Versuch mit dem Goldpapierkasten den praktischen Verhältnissen näher kommt als die Versuche mit Metalldrahtkörben, denn bei letzteren überwiegt die Metallmasse der Schutzhülle weitaus jene des innerhalb befindlichen Zünders mit seiner Leitung, während im ersteren Falle das umgekehrte Verhältniss herrscht, wie es auch in der Praxis wenigstens nicht selten der Fall sein dürfte, da ja die Blitzleitungen ausserhalb des Gebäudes eine ge-

ringere Metallmasse bilden dürften als die innerhalb befindlichen Munitionen enthalten.

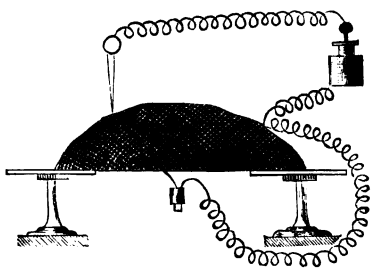
Sind dann diese aber auch dann noch gegen die directen Wirkungen des Blitzes (von den indirecten abgesehen) absolut geschützt, oder können sie etwa doch wie das Knallsilber in Machs Experiment explodiren?

Fig. 6.



Mach zieht aus seinen Experimenten die Schlussfolgerung, dass Körper, eingeschlossen in wiederholt angegebener Weise, sich bei elektrischen Entladungen nicht in einem unelektrischen, sondern in einem sehr schwach elektrischen Felde befänden. Ob dieses für Munitionsvorräthe jeder Art ungefährlich ist, müssten unserer Ansicht nach wohl erst weitere Experimente zeigen.

Fig. 7.



Erwähnung verdienen auch noch jene Versuchsreihen, welche im Militärcomité nach den in den Figuren 6 und 7 dargestellten Anordnungen durchgeführt wurden. Bei diesen Versuchen war die Drahthaube unten nicht durch das möglicherweise etwas leitende Tischblatt abgeschlossen, sondern offen gelassen und in der dargestellten Weise gestützt. Der Zünder wurde hierbei unterhalb, aber gleichzeitig

ausserhalb der Haube aufgehängt. Sowohl bei der ersten Anordnung, wo beide Schaltstellen des Zünders innerhalb des Drahtnetzes angebracht waren, als auch bei der zweiten Anordnung, wo eine Schaltstelle ausserhalb, eine innerhalb sich befand, erwies sich der Zünder als geschützt, d. h. er wurde nicht zur Explosion gebracht.[1])

Hiermit mögen unsere Betrachtungen über den Sitz der Elektricität auf Leitern abgeschlossen sein. Nicht minder wichtig oder eigentlich noch wichtiger für die Construction sicher wirkender Blitzableiter ist die Erörterung der nächsten Frage, die sich uns aufdrängt, nämlich über die Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters.

2. Vertheilung der Elektricität.

Soll sich die Elektricität auf einem Leiter im Gleichgewichte befinden, so muss an allen Punkten der Oberfläche dasselbe Potential herrschen, d. h. die Oberfläche muss eine Niveaufläche sein. Die Elektricität hat dann das Bestreben, in Richtungen senkrecht auf die Oberfläche des Leiters sich von diesem zu entfernen und wird daran nur durch die schlechte Leitungsfähigkeit des umgebenden Mediums, z. B. der Luft, verhindert. Da das Potentiale einer gegebenen Elektricitätsmenge von der Vertheilung derselben im Raume abhängt und sich augenblicklich ändert, wenn die Vertheilung eine andere wird, so muss offenbar für einen Leiter von bestimmter Form auch die Vertheilung eine

[1]) Es wird übrigens (l. c.) bemerkt, dass diese beiden Versuche noch einer weiteren Verificirung bedürfen.

ganz bestimmte sein. Der Leiter muss an einer Stelle seiner Oberfläche eine grössere, an der anderen eine geringere Dichte der Elektricität besitzen. Hierbei ändert sich die Dichte an den einzelnen Stellen proportional der gesammten Elektricitätsmenge auf dem Leiter und ist unabhängig von der Masse des Leiters.

Die Vertheilung der Elektricität kann für die einfachsten geometrischen Leiterformen durch Rechnung gefunden werden, während wir bei complicirteren Formen von unseren mathematischen Hilfsmitteln im Stiche gelassen werden. Ohne hierauf näher einzugehen, wollen wir uns die Vertheilung der Elektricität für eine specielle Form des Leiters auf graphischem Wege klar zu machen suchen, ungeachtet der sehr materiellen Vorstellung, zu welcher wir uns hierbei bequemen müssen.[1])

Fig. 8 stellt einen Leiter dar, dessen Oberfläche im Raume *A B C D* cylindrisch, im Raume *B a D* konisch geformt ist. Die oberste Schichte elektrischer Theilchen ist durch *a b c d . . .* angedeutet. Nehmen wir zunächst an, die Vertheilung der Elektricität wäre auf der ganzen Oberfläche des Leiters eine gleichförmige, wie dies auch durch die gleich weit von einander abstehenden elektrischen Theilchen dargestellt ist, und betrachten wir nun das Verhalten irgend eines Theilchens gegen seine Nachbartheilchen. Das Theilchen *a* wird von dem Theilchen *b* in der Richtung *b f* abgestossen, vom Theilchen *c* in der Richtung *c e*; die Wirkungen der Theilchen *d* und *e* auf *a* können wegen der grossen Entfernung der letzteren von *a* vernach-

[1]) Urbanitzky, Die Elektricität im Dienste der Menschheit, p. 93.

Weise. Wird hierauf der elektrische Körper entladen, so hört hiermit auch jene Kraft zu wirken auf, welche die beiden Influenzelektricitäten getrennt erhalten hat, und diese vereinigen sich wieder. Es entsteht also auch in dem influenzirten Körper ein Entladungsstrom. Man kann diesen sichtbar machen, wenn der influenzirte Leiter an einer Stelle eine Unterbrechung erhält; es wird dann im selben Momente, in welchem der elektrische Körper entladen wird, ein Funke an jener Unterbrechungsstelle sichtbar werden, herrührend eben von jenem Entladungsstrome der gleichzeitig im unfluenzirten Leiter auftreten muss. Man nennt diesen Strom den **elektrischen Rückschlag.** Dieser kann dieselben Wirkungen hervorbringen wie der Entladungsschlag irgend eines anderen Ladungsapparates, z. B. einer Leydener Batterie.

In dieser Weise erklärt es sich auch, dass Personen, die sich nahe bei einem Schliessungsbogen befinden, durch welchen kräftige Entladungen erfolgen, einen schwachen Schlag empfinden, auch wenn sie mit dem Bogen in gar keiner Berührung stehen. Die beiden Influenzelektricitäten werden nämlich, bevor der Entladungsschlag erfolgt, im menschlichen Körper von einander getrennt und vereinigen sich dann plötzlich im selben Momente, als die Entladung durch den Schliessungsbogen erfolgt. Der Rückschlag kann auch in Folge der Entladung elektrischer Wolken unter sich, gegen einen Blitzableiter oder überhaupt gegen die Erde eintreten und dann ebensolche Zerstörungen anrichten wie der Blitzstrahl selbst. Auf diesen Umstand ist daher bei der Construction und Anlage der Blitzableiter entsprechend Rücksicht zu nehmen.

Jeder Entladungsstrom ruft in einem benachbarten geschlossenen Leiterkreise einen **Inductionsstrom** hervor. Auch auf diese Weise können elektrische Wirkungen an Körpern eintreten, die mit der Leitung des Entladungsstromes in gar keiner Verbindung stehen. Es leuchtet daher ein, dass auch auf diesen Umstand bei der Anlage von Blitzableitern sorgfältig geachtet werden muss. In welcher Weise dies zu geschehen hat, werden wir weiter unten zu erörtern Gelegenheit haben.

Hat der Schliessungsbogen für den Entladungsstrom Verzweigungen, so findet die Entladung nicht nur durch den Hauptschliessungsbogen statt, sondern auch durch diese Verzweigungen. Man bezeichnet eine derartige Erscheinung als **Seitenentladung.** Diese Seitenentladungen, welche verschieden stark sind je nach der Stärke der Hauptentladung und der Anordnungsweise der Zweigleitung, können auch bei fehlerhaft angelegten Blitzableitern entstehen. Hier können nämlich mehr oder minder geschlossene Metallmassen in der Nachbarschaft der Blitzleitung eine unbeabsichtigte Zweigleitung bilden. Die Nothwendigkeit, auf diese Umstände bei Anlegung von Blitzableitern sorgfältig Rücksicht zu nehmen, ist sehr deutlich aus den von **A. Töpler**[1]) durchgeführten Versuchen zu entnehmen.

Töpler's Versuchsblitzableiter bestand aus einem 60 Meter langen Kupferdrahtseile *D* (Fig. 10), welches an der Aussenseite des Dresdener Polytechnicums *H* durch 13 eiserne Stützen ohne Isolation am Mauerwerke befestigt war. Das Drahtseil führte zu einem circa 15 Meter

---

[1]) A. Töpler, über einige Experimente zur Blitzableiterfrage, Elektro-techn. Zeitschr. Berlin, V. (1884), p. 246.

Fünkchen zertheilen kann, indem man ersteren auf einen vielfach verzweigten Leiter überschlagen lässt.

Melsens experimentirte mit einem Vertheilungsrahmen, in welchem 390 Metalldrähte von sehr verschiedener Leitungsfähigkeit (im Verhältnisse von 1 zu 8) ausgespannt waren; ihre Querschnitte waren gleichfalls sehr verschieden und verhielten sich in ihren äussersten Grenzen wie 1 zu 62. Die Metalle, welche zur Verwendung kamen, waren Eisen, Messing, Kupfer, Zink und Blei. Es wurde mit Hilfe dieses Vertheilungsapparates gezeigt, dass von einem auf den Rahmen geleiteten Entladungsschlag oder Funken noch $^1/_{60000}$ nachweisbar ist. Ein solcher Theilungsfunke liess sich auch dann noch beobachten, wenn einer der sehr dünnen Versuchsdrähte eine Länge von 200 Meter erhielt; hierbei konnte die Holtz'sche Influenzmaschine, welche zu den Versuchen diente, mit zwei, einer oder gar keiner Leydener Flasche versehen sein oder auch der Entladungsschlag einer kräftigen Flaschenbatterie zur Verwendung kommen. Die elektrische Entladung blieb auch dann vollkommen sicher nachweisbar, wenn in einen der Versuchsdrähte ein Drahtwiderstand von 5000 S. E. eingeschaltet wurde, wenn man Säulen gewöhnlichen oder destillirten Wassers von 1 Meter Länge, Erdschichten mit 10 Procent Feuchtigkeit, ja selbst vollkommen trockenen Sand einschaltete. Auch wurde auf die vollkommen metallische Verbindung der 390 Drähte mit jener Stelle, auf welche der Entladungsfunke überschlug, keine besondere Sorgfalt verwendet.

Diese vollkommene Theilbarkeit des elektrischen Funkens ergab sich auch dann, wenn die Holtz'sche Maschine ohne Leydener Flaschen in Thätigkeit gesetzt

wurde, wobei sie bekanntlich keine eigentlichen Funken producirt, sondern ein büschelförmiges Ausströmen der Elektricität bewirkt. Auch in diesem Falle verbreitete sich die elektrische Ausströmung über alle Theile des Leitersystemes.

Auch die experimentelle Vergleichung zweier Drähte gleicher Dimensionen, von welchen der eine aus Kupfer der andere aus Eisen bestand, ergab interessante Resultate. Hierbei stellte sich ein verschiedenes Verhalten für den Funken einer Holtz'schen Maschine und jenen eines Inductionsapparates heraus. Der Funke der Holtz'schen Maschine passirte gleichzeitig beide Drähte, während sich der Inductionsfunke nicht anf beide Drähte vertheilte, sondern vielmehr bald durch einen, bald durch den anderen Draht passirte; dieses Verhalten des Inductionsfunkens erlitt keine Veränderung, wenn auch der Eisendraht bedeutend verlängert, also dessen Widerstand bedeutend erhöht wurde. Es zeigte sich ferner, dass der bei Anwendung galvanischer Ströme geltende Leitungscoëfficient für Funken oder Entladungsschläge keine Giltigkeit besitzt, dass das Widerstandsgesetz (für galvanische Ströme) ungiltig wird für Entladungsschläge, wenn diese gleichzeitig oder alternirend durch zwei verschiedene Leiter gehen.

Steigert man die Entladungsschläge bis zu einer bestimmten Grösse oder verringert man die Querschnitte der Drähte unter ein gewisses Mass, so werden die Drähte bekanntlich unregelmässig geknickt, verbogen oder zerrissen, geschmolzen oder ganz zerstäubt. Melsens erhielt bei diesen Versuchen ein für Eisen- und Kupferdrähte verschiedenes Verhalten. Waren die Drähte kurz (nur einige Centimeter lang) bei einem Querschnitte

von ungefähr $^1/_3$ Millimeter, so glühte und verbrannte der Eisendraht, wenn der Entladungsfunke einer kräftigen Leydener Batterie auf ihn geleitet wurde, während ein ebenso kräftiger Funke den Kupferdraht unverändert liess. Waren hingegen die Drähte mehrere Meter lang bei einem Durchmesser von $^1/_{10}$ Millimeter, so widerstand bei gleich starken Entladungen der Eisendraht, während der Kupferdraht theilweise schmolz (in Form einer Perlschnur) oder auch vollkommen zerstäubt wurde. Liess man den Entladungsschlag auf mehrere parallel gespannte Drähte wirken, welche an ihren Enden durch die gemeinsame Einspannvorrichtung untereinander in leitender Verbindung standen, so waren die Einknickungen und Verbiegungen, die man bei entsprechender Bemessung der Stärke des Entladungsschlages in den einzelnen Drähten erhielt, einander vollkommen parallel. Somit zeigt auch dieses Experiment, dass der Entladungsfunke sich über alle Theile eines Leitersystemes ausbreitet.

Das Ergebniss der vorstehend beschriebenen Experimente veranlasste Melsens zur Construction eines Blitzableitersystemes; in Bezug auf die Leitung ist für dasselbe die Anwendung vieler schwacher Leitungsdrähte an Stelle einer starken Leitung charakteristisch.

Auch **Preece** und **Th. du Moncel** beschäftigten sich eingehend mit der Frage, in welcher Weise die Bewegung hochgespannter Ströme sich entwickelt und auf welche Art daher die Leitungen für Blitzableiter anzulegen sind. Preece ist der Ansicht, dass die Wirkungen des Blitzes nur Wirkungen der Elektricitätsquantität seien und benützte daher zu seinen experimentellen Untersuchungen eine Batterie von 3240 Chlorsilberelementen in Verbindung mit einem Condensator,

dessen elektrostatische Capacität = 428 Mikrofarad — repräsentirend ein Potential von ungefähr 3317 Volts. Der Strom kann einen Platindraht von $2^1/_2$ Zoll Länge und 0·0125 Zoll Dicke schmelzen. Preece hält dies, von seiner bereits erwähnten Ansicht ausgehend, für eine zulässige Nachahmung des Blitzes. Man kann in einem kurzen Stromkreise 1 Centimeter Platindraht durch 1 Element erhitzen, benöthigt aber für einen Widerstand von 100 Ohms im Stromkreise mindestens 1000 Elemente, bei 10.000 Ohms mehr als 10.000 Elemente für denselben Zweck. Also handelt es sich darum, x Einheiten Elektricitätsquantität durch 1 Kilometer Luft zu schicken, so braucht man hiefür die Spannung eines Gewitters; es ist hingegen leicht, dieselbe Quantität durch 1 Centimeter Luft in unseren Experimenten gehen zu machen.

Preece untersuchte Leiter aus Kupfer von 30 Fuss Länge in Form von Röhren, massiven Cylindern und Bändern, bei allen Formen denselben Kupferquerschnitt beibehaltend. Der miteingeschaltete Platindraht brannte in allen Fällen bei $2^1/_2$ Zoll Länge durch. Dieselben Versuche mit Blei, welches einen zwölfmal grösseren Widerstand besitzt, durchgeführt, ergaben ebenfalls gleichen calorischen Effect. Hieraus schliesst Preece, dass auch Ströme hoher Spannung dem Ohm'schen Gesetze gehorchen und somit ein Leiter grosser Oberfläche gegenüber einem solchen mit kleiner Oberfläche (bei gleichem Querschnitte) keinen Vortheil gewährt.

Die Consequenzen, welche Preece aus seinen Versuchen zog, stimmen jedoch mit anderweitig angestellten Experimenten nicht ganz überein. So macht Th. du Moncel darauf aufmerksam, dass nicht jede Wirkung

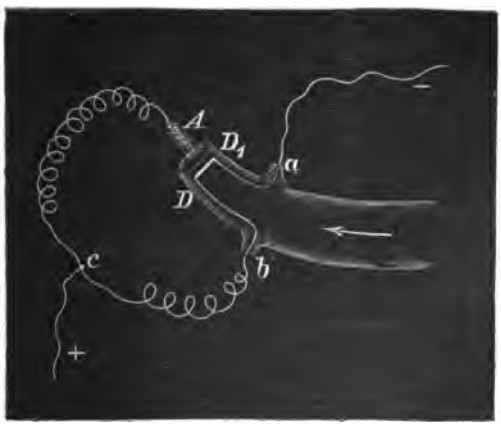
abhängige Induction ist es, welche die Quantität in diesen Leiter führt. Beide Ursachen zusammen geben die Wirkungen hochgespannter Ströme oder atmosphärischer Entladungen.

Wir können uns hierüber, wie Th. du Moncel gezeigt hat, auch experimentell Klarheit verschaffen. Gelegenheit hierzu bietet der Funke eines Ruhmkorff-schen Inductoriums. Dieser kann auf verschiedene Art leicht in zwei deutlich von einander unterschiedene Bestandtheile aufgelöst werden. Lässt man den Funken zwischen zwei nicht zu weit von einander entfernten Leitern überspringen, so erscheinen diese durch eine intensiv leuchtende Feuerlinie verbunden; diese ist umgeben von einer nicht sehr hellen, leicht beweglichen Lichtwolke, der sogenannten Aureole. Letztere lässt sich von dem eigentlichen Funken schon durch blosses Anblasen trennen. Noch vollkommener gelingt die Trennung durch einen von Perrot angegebenen Versuch. In ein aufgebogenes Glasrohr sind bei *a* und *b*, Fig. 11, Drähte eingeschmolzen, deren Enden sich bei $D D_1$ gegenüberstehen. Der von *a* ausgehende Draht ist mit dem einen Pole des Inductoriums verbunden, der von *b* ausgehende Draht steht bei *c* mit dem zweiten Poldrahte in Verbindung; von *c* geht noch ein dritter Draht $c A$ aus, dessen Ende der engen Mündung des Glasrohres gegenübergestellt wird. Durch das Rohr selbst treibt man in der Richtung des Pfeiles einen Luftstrom. Wird hierauf der Inductionsapparat in Thätigkeit gesetzt, so geht der glänzende Funke zwischen *D* und D_1 über, während die Aureole bei *A* erscheint.

Die Aureole bewirkt calorische und chemische Effecte und gehorcht dem Einflusse magnetischer Kräfte;

der Funke hingegen wirkt mechanisch, physiologisch und inducirend. Dass in der Gesammtentladung der Funke der Aureole vorhergeht, lässt sich auch mit Hilfe eines rotirenden Spiegels nachweisen. Auch ist es eine bekannte Thatsache, dass man in dem unterbrochenen Stromkreise einer Spannungsbatterie den Stromkreis dadurch schliessen, d. h. das continuirliche Ueberspringen von Batteriefunken dadurch einleiten

Fig. 11.



kann, dass man zunächst zwischen den beiden Enden an der Unterbrechungsstelle des Stromkreises Funken einer Leydener Flasche oder eines Inductoriums überspringen lässt. Dieser Methode bediente sich Gassiot bei seiner aus 3000 Elementen bestehenden galvanischen Batterie. Also wird auch hier durch eine Entladung hochgespannter Elektricität der Weg für das Nachströmen der Quantität (des Batteriestromes) vorbereitet.

Es bestimmt daher die Spannung des Blitzes im Momente des Einschlagens, sagt Th. du Moncel, den Effect der seitlichen Induction und diese kann bei einer gewissen Mächtigkeit eine seitliche Entladung bewirken. Um solche seitliche Inductionseffecte zu verhindern, die Prädisposition für Seitenentladungen gegen nahe gelegene Theile des Gebäudes zu beheben, ist es nothwendig, die Leiter so anzuordnen, dass eine solche hinreichende Spannung nie erreicht wird, dass sich die Entladung vielmehr so schnell als möglich ergiessen kann, und deshalb ist die grosse Oberfläche nothwendig, während der genügende Querschnitt für die Bewältigung der Quantität sorgt. Wenn Preece bemerkt, dass eine grosse Oberfläche eben wegen der Induction gefährlicher sei als eine kleine Oberfläche, so ist dies nur dann richtig, wenn der Induction Zeit gelassen wird, um zu ihrem Maximum anzuwachsen; dies ist aber hier nicht der Fall, da die Blitzentladung viel zu rasch erfolgt.

III. Aufgabe und Wirkungsweise eines Blitzableiters.

Die im vorhergehenden Abschnitte skizzirten Experimente und Untersuchungen lassen uns bereits erkennen, welche allgemeine Grundsätze bei der Construction von Blitzschutzvorrichtungen zu befolgen sind und in welcher Weise diese zu wirken vermögen. Es ist hieraus unschwer zu ersehen, dass die Wirkung eines gut angelegten Blitzableiters eine zweifache sein wird.

Kommt eine elektrische Wolke in die Nähe eines Blitzableiters, so muss dieser wegen seiner mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Spitze auf die Wolke gerade so einwirken, wie die einer elektrischen Messingkugel genäherte Spitze in dem auf Seite 47 beschriebenen Experimente. Der Blitzableiter bewirkt also eine theilweise oder gänzliche Entladung der Wolke, und zwar in Form einer büschelförmigen elektrischen Ausströmung ohne Funkenbildung, d. h. ohne Blitzschlag. Diese Wirkungsweise eines Blitzableiters ist hundertfältig beobachtet worden und die hierbei auftretende Erscheinung eines elektrischen Lichtbüschels auf der Spitze des Blitzableiters unter dem Namen Elmsfeuer allgemein bekannt.

Die zweite Aufgabe eines Blitzableiters besteht darin, dass er eine Gewitterwolke, welcher er in der eben angegebenen Weise ihre Ladung nicht vollkommen zu entziehen vermag, veranlasst, den Blitzstrahl gerade auf den Blitzableiter und nicht etwa seitwärts auf das zu schützende Gebäude zu schleudern und dass hierauf die gesammte auf den Blitzableiter übergegangene Elektricität ausschliesslich nur durch den Blitzableiter zur Erde geführt wird. Unter welchen Bedingungen die Elektricität sicher nur durch die vorgeschriebene Leitung zur Erde geleitet werden kann, wurde bereits im vorhergehenden Abschnitte ausführlich besprochen; auch werden wir weiter unten noch Gelegenheit haben, diesbezügliche Angaben zu machen.

Hingegen halten wir es für nothwendig, an dieser Stelle die Wichtigkeit der erstangegebenen, gewissermassen vorbeugenden, oder wie sie Melsens nennt, präventiven Wirkungsweise des Blitzableiters beson-

ders zu betonen, und zwar umsomehr, als neuerer Zeit von mancher Seite auf diese Aufgabe gar kein Werth gelegt wird. Man behauptet, dass die Menge der Wolkenelektricität, welche durch die Spitzenwirkung des Blitzableiters neutralisirt wird, zu unbedeutend sei, um gegen die gewaltige sich momentan erneuernde Ladung der Wolke in Betracht zu kommen. Dem ist aber nicht so; es zeigen dies vielfache Beobachtungen und verschiedene ganz unzweideutige Versuche. Hiervon nachstehend Folgendes:

„Im Jahre 1753 stellte", wie F. Arago[1]) berichtet, „Beccaria zu Turin auf dem Dache der Kirche *San Giovanni di Dio* eine Eisenstange auf, deren unterer Theil zwischen Stützen aus solchen Substanzen befestigt war, welche den Blitz schwer durchlassen. In geringem Abstande von dem unteren Ende dieser Eisenstange war der Anfang des Leiters. Der höchste Theil der Stange trug eine drehbare Metallspitze, die man vermittelst einer seidenen Schnur nach Belieben gegen den Himmel oder nach der Erde richten konnte. Wenn die Spitze gesenkt war, gab der Apparat keine Funken; wandte man plötzlich die Spitze gegen Himmel, so zeigten sich wenige Augenblicke nachher Funken und blieben wiederum aus, sobald man die Spitze aufs neue gegen die Erde richtete. Dieser Versuch beweist unzweideutig, wie sehr eine spitze Stange einer stumpfen, in Bezug auf Entladung des Blitzstoffes der Gewitterwolken, überlegen ist. Bezüglich der Menge von Elektricität, welche die Blitzableiter mit Spitzen den Wolken

---

[1]) Franz Arago's sämmtliche Werke, herausgegeben von Dr. W. G. Hankel, B. IV, p. 279.

entziehen, liefern Beccaria's Versuche ebenfalls das erforderliche Material zur Beurtheilung."

„Dieser geschickte Physiker hatte zu Turin an zwei von einander sehr entfernten Stellen des Palastes *Valentino* zwei dicke und steife Metalldrähte angebracht, die in der ihnen gegebenen Lage durch Nichtleiter festgehalten werden. In geringer Entfernung von jedem dieser Drähte befand sich ein anderer Draht, der zur Erde hinab und ziemlich tief in dieselbe hinein ging. Zur Zeit eines Gewitters nun sprangen lebhafte Funken, ich könnte sagen Blitze der ersten Classe,[1]) unaufhörlich zwischen den isolirten unteren Drähten über. Auge und Ohr waren kaum im Stande, die Unterbrechungen wahrzunehmen. Das Auge bemerkte keine Unterbrechung des Lichtes, das Ohr vernahm ein fast ununterbrochenes Geräusch. Es wird kein Physiker mir widersprechen, wenn ich behaupte, dass jeder einzelne Funke schmerzhaft gewesen wäre, dass zehn Funken vereinigt den Arm gelähmt, dass vielleicht hundert einen niederschmetternden Schlag gebildet hätten. Hundert Funken erschienen in weniger als zehn Secunden; es ging also jedesmal in zehn Secunden von einem Drahte zum anderen eine Quantität Blitzstoff über, die einen Menschen hätte tödten können, in einer Minute sechsmal so viel, in einer Stunde sechzigmal mehr als in einer Minute. Während eines Gewitters entzog also in einer Stunde jede Metallstange des Palastes Valentino den Wolken eine Quantität Blitzstoff, die 360 Menschen hätte tödten können. Es waren aber zwei solcher Stangen vorhanden, man muss also die Zahl verdoppeln, so haben wir schon

[1]) Darunter sind Zickzack-Blitze verstanden.

720. Aber der Palast Valentino hatte sieben pyramidale mit Metall bekleidete und mit den bis unter die Erdoberfläche hinabführenden Dachrinnen in Verbindung stehende Dächer. Die Gipfel dieser Pyramiden waren mit Spitzen versehen und erhoben sich höher in die Luft, als die Enden der beiden Drähte, mit welchen Beccaria seine Versuche anstellte. Alles berechtigt daher zu der Annahme, dass jede Pyramide wenigstens ebensoviel Blitzstoff abzog als jene dünnen Stangen. Wenn man also alles aufs niedrigste anschlägt, wenn man annimmt, dass der Valentino nur durch seine Spitzen wirkte und alle übrigen Theile des Gebäudes völlig wirkungslos waren, so würden wir dennoch bei diesem einzigen Gebäude die Quantität der dem Gewitter in dem kurzen Zeitraume einer Stunde entzogenen Materie hinreichend finden um 3240 Menschen zu tödten."

„Solchen Thatsachen gegenüber", fügt Arago hinzu, „lege ich, offen gestanden, wenig Werth auf theoretische Betrachtungen, durch welche man den Blitzstoff den die Blitzableiter den Gewitterwolken entziehen können, auf ein Unbedeutendes einschränken will. Jedenfalls würde dieses Unbedeutende die Kraft haben, Thüren einzuschlagen, Hausgeräthe zu zertrümmern und umzustürzen, Mauern zu zersprengen und Menschen zu tödten."

„Und haben wir nicht andere Erfahrungen", sagt Karsten[1]), welche diese Spitzenwirkung unzweifelhaft machen? Warum sind denn die Blitzschläge in den Städten so selten? Doch nicht etwa, weil sie wegen der vielen Blitzableiter ohne Schaden verlaufen und

[1]) Dr. G. Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektricität des Gewitters und die Wirkung der Blitzableiter. Kiel 1880, p. 30.

deshalb unbemerkt bleiben. Die Zahl der Blitzableiter ist klein genug. Nein, weil jedes Haus, jeder rauchende Schornstein Spitzenwirkung ausübt und namentlich eine sehr vollständige, wenn die Dächer und Hauswände durch Regen benässt und leitend geworden sind. Wäre unsere Statistik über Brandschäden durch Blitz nur ein wenig besser, so würde sich zeigen, dass in Fabriksdistricten mit vielen hohen rauchenden Schornsteinen kaum ein schädigender Blitzschlag vorkommt. Endlich, ist nicht jeder Wald ein Beweis für diese den Blitz zur Erde hindernde Spitzenwirkung? Die Millionen Spitzen der Blätter und Nadeln hindern das Zustandekommen des Blitzes, der höchstens einzelne, besonders hervorragende Bäume des Waldes ab und zu trifft. Wäre dem nicht so, dann müssten jedes Jahr überall Waldbrände durch den Blitz erfolgen und es möchte kaum noch Wald existiren."

Ferner verweisen wir auf die zahlreichen Experimente, die mit „elektrischen Drachen" und sogenannten „Wetterfängern" von de Romas, Charles, Franklin, Richmann, Dalibard u. A. durchgeführt wurden, bei welchen hin und wieder selbst durch sehr unvollkommene Leitungen ganz kolossale Quantitäten Elektricität erhalten wurden, ohne dass ein Blitzstrahl auf die Auffangspitze gelangt ist.

Aber auch directe Beobachtungen über die Entladung von Gewitterwolken durch Blitzableiter liegen in grosser Anzahl vor. So erzählt Hemmer (Hemmer's Anleitung, p. 40)[1]) zum Beweise der Wirksamkeit der Blitzableiter anführend, wie

[1]) G. Karsten, Allgemeine Encyklopädie der Physik, Bd. XX. C. Kuhn, Handbuch der angewandten Elektricitätslehre, p. 183.

„zur gewitterzeit auf den spizen ser viler wetterleiter, in verschiedenen landen und gegenden, bleibende flämmchen, zum zeichen des abflusses des Blitzstoffes, gesehen worden",

die folgenden Ereignisse:

„Eine merkwürdige erscheinung dieser art ist im jare 1781, des abends bei einem schweren gewitter, auf zweien wetterleitern des schlosses zu Nimfenburg, deren 17 jeder mit 5 spizen darauf stehen, von dem ganzen kurfürstlichen hofe beobachtet worden, wodurch merere elektrische unglaubige so bekeret wurden, dass sie ire häuser ebenfals wider die blitzstralen bewafnen lisen. Nicht lang nach diser erscheinung hat sich daselbst eine weit merkwürdigere eräugnet. Es zog nämlich ein greüliches gewitter von westen gerad über dem schlosse nach osten hin, und sehet da, so bald di wetterwolken über dem schlosse her gegangen war, glichen si toden kolen, und gaben nicht mer das mindeste feuer von sich, da si doch alle auf der andern seite des schlosses, wo das gewitter her kam, so entsezlich blizeten, das der ganze himmel daselbst ein feüeriger strom zu sein schien."

Aehnliches berichtet Prokop Divisch über die Wirksamkeit seiner „meteorologischen Maschine", die er am 15. Juni 1754 aufgestellt hatte.[1]) Gleich am selben Tage gelang ihm die Entladung einer Gewitterwolke. Die Gegenprobe bildete ein am 5. Juni 1756 aufsteigendes Gewitter, bei welchem die Maschine durch den Sturm gebrochen wurde. Kaum war die Maschine herabgestürzt, so entlud sich das Gewitter. Ueber ein

[1]) Vergleiche p. 17.

am 11. Juni desselben Jahres stattgehabtes Gewitter berichtet Divisch in nachstehender Weise (l. c.):

„Kaum erreichte die Maschine ihre gewöhnliche Anhöhe, als alles Blitzen und Donnern aufgehöret, die finstern Wolken traten aus einander, und bliebe von dem Ungewitter nichts anderes zuruck, als ein geringer, mit Linsen-Körnlein grossen Eyss vermengter Regen; wo doch ausser diesem Bezirk in Millfrauen, und anderen Orten auf eine Entfernung von anderthalb Stunden fast alles niedergeschlagen wurde. Von dieser Stund an (dem ewigen Gott seye immerwährender Dank) herrschte um Brenditz immerfort eine günstige Luft, also zwar, dass obwohlen durch den Julium und Augustum schier täglich grosse Ungewitter entstanden, solche dennoch für diesen Ort, und die in Diametro auf 2 Stunden umliegende Ortschaften ohne allen Schaden vorbeigegangen. Dass aber die Abziehung des Wetters die eigene, und in der Natur gegründete Würkung dieser Maschine seye, kann von denen Gönnern sowohl als unsern Widersachern zur Zeit des Ungewitters in allmaligen Augenschein genommen werden, dann sobald das Ungewitter 5o Grad an der Höhe erreichet, so erblicket man schon die Abziehung und Zertheilung in demselben. Gehet das Gewitter langsam, so ist die Abziehung gegen die Maschine wie pure Ströhme, weit und breit zu sehen; haltet solches aber einen schnellen Lauf, so erscheinet auch selbtes Stuck weiss von einandergerissen; inmassen dann, da das elektrische Feuer im Gewölk abgenommen, ganz natürlich erfolget, dass das Gewölk auseinandergehen müsse; zumahlen das Feuer durch seine anziehende Kraft das Gewölk (wie ein Leim zu sagen das Holz) zusammenfüget."

Solche und ähnliche Beobachtungen und Experimente könnten noch in grosser Anzahl angeführt werden, doch würde deren Aufzählung auch nicht mehr beweisen können, als durch das Mitgetheilte unzweifelhaft bewiesen ist. Das Verhalten eines gut angelegten Blitzschutzsystemes gegen eine Gewitterwolke ist sonach folgendes:

Die einem Blitzableiter sich nähernde elektrische Wolke bewirkt im ersteren wie überhaupt in jedem nahe stehenden Leiter (natürlich auch auf der Erde) eine Vertheilung der Elektricität durch Influenz. (Die Wirkung auf Nichtleiter hat hier für uns kein Interesse.) Die Influenzelektricität erster Art wird als ungleichnamig von der Wolkenelektricität angezogen, die Influenzelektricität zweiter Art als gleichnamige abgestossen. Erstere muss sich daher am oberen, der Wolke am nächsten gelegenen Theile ansammeln, auf der Spitze (oder den Spitzen) die grösste Dichte erreichen und daher gegen die Wolke zu ausströmen. Die Influenzelektricität zweiter Art wird hingegen abgestossen werden und, eine gute Erdleitung vorausgesetzt, zur Erde abfliessen.

In Folge dieses Verhaltens des Blitzableitersystemes muss an jener Stelle der Wolke, welche der Spitze zunächst steht, die Dichte der Wolkenelektricität gesteigert werden, weshalb auch hier eine Ausströmung der Wolkenelektricität eintreten muss. Die gegeneinander ausströmenden ungleichnamigen Elektricitäten der Wolke und des Blitzableitersystemes neutralisiren sich gegenseitig in der Seite 45 u. f. angegebenen Weise und bewirken dadurch eine gänzliche oder theilweise Entladung der Wolke.

Ist die Ladung der Wolke zu bedeutend oder erneuert sich dieselbe zu rasch, als dass die Ausströmung und Neutralisirung durch die Spitzenwirkung eintreten könnte, so erfolgt der Ausgleich der Elektricitäten bei einer bestimmten Spannung durch den elektrischen Funken, d. h. durch einen Blitzschlag, der bei richtiger Anlage der Blitzschutzvorrichtung stets zwischen Wolke und Spitze des Blitzableiters erfolgen wird, weil an der Spitze die weitaus grösste elektrische Dichte herrscht. In diesem Falle fordert man von einer guten Anlage, dass ihre Leitungsfähigkeit ausreichend sei, um die Ausgleichung ausschliesslich nur auf der Leitung zu ermöglichen oder, wie man sich kurz ausdrückt, um den Blitz ohne Gefahr für die Leitung sowohl als auch für das zu schützende Object zur Erde zu leiten.[1])

IV. Der Blitzableiter und seine Bestandtheile.

Ueber die Aufgaben, welche eine Blitzschutzvorrichtung zu erfüllen hat, genugsam unterrichtet, können wir uns nunmehr der technischen Herstellung derartiger Anlagen selbst zuwenden. An den Blitzschutzvorrich-

---

[1]) Thatsächlich kommt natürlich nicht blos die Influenzwirkung der Wolke auf den Blitzableiter, sondern auf die ganze der Wolke gegenüber befindliche Erdoberfläche in Betracht, von welcher das Gebäude mit seinem Blitzableiter nur einen Theil bildet. Doch da dies keine principielle Aenderung der in Rede stehenden Erscheinungen bewirkt, wurde der Einfachheit halber die Influenzwirkung nur auf den Blitzableiter bezogen.

tungen, wie solche zum Schutze grösserer Objecte, und zwar ausserhalb derselben, in Verwendung kommen, also bei den eigentlichen Blitzableitern, kann man folgende Theile unterscheiden: die Spitze, die Auffangstange, die oberirdische Leitung und die Erdleitung.

1. Die Spitze.

Theorie und Experimente weisen darauf hin, dass die Beschaffenheit der Spitze für die Wirksamkeit des Blitzableiters von wesentlichem Belange ist. Sie lassen uns auch erkennen, dass eine Spitze desto besser ihrem Zwecke entspricht, je schärfer sie ist (je mehr sie sich einer mathematischen Spitze nähert) und ein je besseres Leitungsvermögen sie besitzt. Ersteres bestimmt unter sonst gleichen Umständen ihre präventive oder vorbeugende, letzteres, zum Theile im Vereine mit ersterem, ihre präservative oder schützende Thätigkeit, sobald sie ein Blitzstrahl trifft. Die Theorie lässt uns aber auch noch eine weitere Bedingung erkennen, die gleichfalls ins Auge zu fassen ist, wenn die Spitze ihren Zweck erfüllen soll: das Material, aus welchem sie gefertigt ist, muss einen hohen Schmelzpunkt besitzen, um nicht beim Einschlagen eines Blitzes oder gar schon beim continuirlichen Ausströmen (in Form des Elmsfeuers) geschmolzen und verdorben zu werden. Dies zu vermeiden erscheint um so wichtiger, als Reparaturen am obersten Theile der Auffangstange häufig nur schwierig und kostspielig auszuführen sind.

Diesen Forderungen der Theorie schliesst sich als wichtigste Forderung der praktischen Ausführung die an, dass die Spitze, allen Einwirkungen der Atmosphärilien in hohem Masse ausgesetzt, diesen dauernd wider-

stehen soll; auch darf der Preis kein zu hoher sein, wenngleich übertriebene Sparsamkeit hier sehr schlecht am Platze wäre. Eine Spitze, welche allen diesen Anforderungen vollkommen entspricht, ist, wie leicht einzusehen, nicht herstellbar. Wir kennen z. B. gegenwärtig kein Material, welches, zu einer Nadelspitze geformt, bei hoher Leitungsfähigkeit einen so hohen Schmelzpunkt besitzt, dass es nicht durch einen Blitzstrahl geschmolzen würde.

Glücklicherweise kommt es hier auf die Vollkommenheit nicht so sehr an, als häufig behauptet wurde und wird, und hat auch hier, wie so häufig, eine unbegründete oder gar nur speculative Verbesserungssucht mancherlei Gutes als unbrauchbar oder gar gefährlich darzustellen versucht. Wollten wir sämmtliche Spitzenconstructionen, auf welche Patente genommen sind, beschreiben, so könnte hiermit ganz gut ein Bändchen gefüllt werden. Hiervon abgesehen, haben sowohl einzelne Fachmänner als auch wissenschaftliche Corporationen Regeln aufgestellt, nach welchen die Spitzen (ebenso wie die ganzen Anlagen) herzustellen sind; das Wichtigste möge nachstehend mitgetheilt werden.

Schon im Jahre 1823 trat eine **französische Commission** zusammen, welche den Rath gab, auf das aus Messing anzufertigende Ende der Auffangstange eine Platinnadel von 5 Centimeter Länge mit Silber aufzulöthen und die Löthstelle durch einen gut aufgepassten Kupferring zu verstärken. Diese Spitzen erwiesen sich als ganz unbrauchbar, da sie wegen der langen, scharfen Zuspitzung (des zu kleinen Endwinkels) einen zu geringen Querschnitt besassen und daher sehr leicht abgeschmolzen wurden.

Eine zweite im Jahre 1854 einberufene Commission gab daher die allzu scharfen Spitzen auf und empfahl dafür Spitzen, wie sie die Fig. 12 zeigt. Das Ende der eisernen Fangstange, welche oben einen Durchmesser von 2 Centimeter besitzt, erhält ein Schraubengewinde von 1 Centimeter Höhe und 1 Centimeter Durchmesser. Hierauf schraubt man einen mit entsprechender Schraubenmutter versehenen Kegel aus Platin, der an seiner Basis einen Durchmesser von 2 Centimeter bei einer Höhe von 4 Centimeter besitzt. Aus dieser Construction resultirt ein Endwinkel von beiläufig 28 Grad. Die Verbindung der Spitze mit der Fangstange wird nach der Verschraubung noch durch Schweissung vollkommen gesichert. Es ist nun allerdings nicht zu leugnen, dass diese Spitze ihrem Zwecke recht gut entspricht; hingegen ist zu bedenken, dass der Preis des Platins ein ziemlich hoher ist. Der Kostenaufwand für dieses Metall kann allerdings dadurch verringert werden, dass man unter Beibehaltung der äusseren Form und der Dimensionen auch den Kern der kegelförmigen Spitze aus Eisen bestehen lässt und auf dieses nur einen Kegelmantel aus Platin aufsetzt. Wird die Verlöthung des Platinmantels mit dem Eisenkerne sorgfältig ausgeführt, so steht diese Spitze der erst-erwähnten in keiner Weise nach.

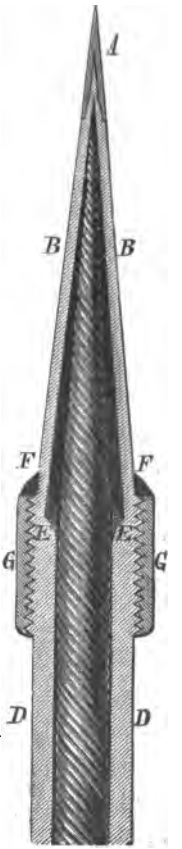
Fig. 12.

Wie Buchner[1]) mittheilt, wendet **Berghausen** in Köln mit grossem Vortheile die in Fig. 13 abgebildete

[1]) Dr. O. Buchner, Die Construction u. Anlage der Blitzableiter.

Form der Spitze an. „Das Kupferdrahtseil (der Leitung) steht über das obere Ende der röhrenförmigen Fangstange hervor und wird mit dieser bei *E* verlöthet. Dann wird die hohle kupferne Spitze *B* fest auf das Drahtseilende aufgeschraubt bis zur vollen metallischen Berührung mit der Fangstange; es darf also das hervorragende Ende des Drahtseiles weder zu lange noch zu kurz sein. Die Verbindungsstelle bei *E* wird durch einen aufgeschraubten Muff *G* überdeckt und bei *F* nochmals verlöthet. Auf das obere Ende der Kupferspitze wird eine Platinspitze *A* metallisch eingelassen und mit Silber aufgelöthet. Auf diese Weise entsteht eine wenigstens doppelte metallische Verbindung der Spitze mit Stange und Ableiter und die Praxis hat gezeigt, dass Schmelzungen bei Blitzschlag nur sehr selten vorkommen; nur eine der geschmolzenen Spitzen musste von Berghausen ersetzt werden, die anderen waren aber noch so spitz und glatt, dass sie ohne Bedenken stehen bleiben konnten; die früher benützten ausschliesslich kupfernen Spitzen schmolzen hingegen viel stärker".

Fig. 13.



C. Kuhn[1]) hält reines Silber für das weitaus beste Spitzenmaterial, da das Leitungsvermögen desselben für Entladungsströme beiläufig

[1]) Karsten, Encyklopädie der Physik, B. XX, p. 96.

1·36 mal so gross wie das des reinen Kupfers
1·81 „ „ „ „ „ „ „ Goldes
7·7 „ „ „ „ „ „ „ Eisens
9·6 „ „ „ „ „ „ „ Platins

ist und sein Schmelzpunkt bei 1000 Grad Celsius liegt, also jedenfalls hoch genug, um eine Veränderung der Cohäsion durch Einfluss der Wärme nicht befürchten zu müssen, wenn die Leitungsfähigkeit der Spitze selbst ausreichend ist.

„Die Unveränderlichkeit unter dem Einflusse der Atmosphäre", sagt Kuhn, „ist ohnehin eine charakteristische Eigenschaft des Silbers, und es würden höchstens derartige Aenderungen nur dann eintreten können, wenn das Silber einer Atmosphäre ausgesetzt wird, welche luft- oder wasserförmige Schwefelverbindungen enthält. Ausserdem ist bei gleichem Gewichte der Preis des Silbers nur etwa der vierte oder fünfte Theil von dem des Platins und es mögen die Kosten einer Silberspitze kaum so viel wie die einer vergoldeten Kupferspitze betragen; ferner lässt sich das Silber sehr leicht bearbeiten und mit anderen Metallen durch Löthen verbinden. Eine solche Silberspitze würde, wenn ihre Basis einen Durchmesser von 8 bis 9 Linien erhält, viel länger gemacht werden dürfen als eine Platinspitze, ohne dass die Kosten dabei sich höher herausstellen wie für die aus Platin, während ihre Wirksamkeit hierdurch erhöht werden könnte. Man kann es daher vorläufig als ausgemacht ansehen, dass so lange ein anderes Metall oder eine Metall-Legirung, die jene Eigenschaften in noch höherem Grade besitzen wie das Silber, nicht angegeben werden kann, dieses Metall für den vorliegenden Zweck am geeignetsten sein dürfte."

Diese Silberspitzen sollen seit ihrer Empfehlung durch Kuhn vielfach und speciell in Rheinpreussen häufig zur Anwendung gelangen.

Fig. 14.

Da die älteren Vorschläge, Platin als Spitzenmaterial zu verwenden, wegen der schwierigeren Bearbeitung und des hohen Preises wenig Aussicht auf allgemeine Ausführung hatten, entschloss sich bereits die **französische Commission** vom Jahre 1855 das schon von Franklin vorgeschlagene Kupfer neuerdings als Spitzenmaterial zu empfehlen. In der That ist das Leitungsvermögen des Kupfers ein sehr hohes, nach dem Silber, wie oben angegeben, das höchste. Die Kupferspitze wird sich daher durch einen Entladungsstrom bedeutend weniger erhitzen als eine gleiche Spitze aus Platin. Die Commission schlug vor, mit dem eisernen Ende der Fangstange einen Kupfercylinder von 2 Centimeter Durchmesser zu verschrauben und zu verlöthen und diesen zu einem Kegel zuzuschärfen, dessen Basisdurchmesser zur Höhe sich wie 2:3 verhält.

Die Commission hat es nicht für nothwendig befunden, die Kupferspitze durch einen Ueberzug aus irgend einem edlen Metalle gegen Oxydation zu schützen, während man in Deutschland hingegen durch Vergoldung der Spitze häufig einen solchen Schutz anstrebt. Auch lässt man die Spitze in einem kleineren Endwinkel auslaufen. So hat z. B. die **General-Inspection des Ingenieurcorps** und der Festungen zu Berlin die in

Figur 14 dargestellte Form vorgeschlagen.[1]) Die Spitze ist ganz von Kupfer und am oberen Theile stark im Feuer vergoldet. Das obere Ende des verzinkten Eisenseiles (der Leitung) ist in eine kupferne Hülse eingelöthet und das Ganze dann an die Spitze fest angeschraubt. Durch Umwickeln und Verlöthen von Kupferdrähten oder noch besser mittelst kupferner Klammern wird die Spitze und das Seil nun an die oben abgerundete eiserne Auffangstange befestigt.

Fig. 15.

M. Lindner[2]) ist der Ansicht, dass es vollständig genügen würde, die Enden der Auffangstangen zuzuspitzen und nur die äusserste Zuspitzung mit einem schwer oxydirbaren Ueberzuge zu versehen, wenn hiergegen nicht praktische Schwierigkeiten sprächen. Lediglich aus diesem Grunde ist es rathsam, auf die Auffangstange eine einfache Spitze aufzuschrauben. Eine solche einfache bewährte Spitze ist in Figur 15 dargestellt. Ein 20 Centimeter langer und 13 Millimeter starker Stab aus reinem Kupfer ist am oberen Ende 30 Millimeter lang zugespitzt und daselbst mit einem Platinblechkegel versehen, während am unteren Ende eine Rothgusspatrone solid aufgeschraubt ist, durch welche gleichzeitig die Spitze auf der Stange festgezogen wird.

In jüngster Zeit wurde von dem elektrotechnischen Institute **Alwin Hempel** in Dresden das Nickel als

---

[1]) Dr. O. Buchner, l. c.

[2]) Zeitschrift für Elektrotechnik, 1884, II, 182.

Spitzenmaterial vorgeschlagen und hierauf ein Patent angemeldet. Hempel verwirft das Platin, weil es starken Strömen zu viel Widerstand bietet und daher in kurzer Zeit abgeschmolzen wird. „Herr Hempel hat die glückliche Idee gehabt, mit reinem Nickel Versuche zu machen. Diese haben die bekannte Thatsache bestätigt, dass Nickel allen Witterungseinflüssen so gut widersteht wie Gold und Platin. Dank seinem viel niedrigeren Preise aber können daraus grosse massive Spitzen hergestellt werden, welche nicht nur ein prächtiges silberweisses Aussehen haben, sondern, was die Hauptsache ist, nie oxydiren, daher auch stets gut leitend bleiben. Fortwährende Controlen und Reparaturen sind bei dieser Spitze unnütz, sie bietet eine absolute Sicherheit und kostet dabei kaum mehr als die bisher gebräuchlichen Spitzen. Nicht zu vergessen ist auch, dass sie stets ihren Metallwerth behält. Wir richten das Augenmerk aller derer, die sich mit Blitzableiteranlagen beschäftigen, auf diese hochwichtige Erfindung."[1])

Dieser Darstellung gegenüber haben wir zu bemerken, dass die Anwendung von Nickelspitzen für Blitzableiter zwar keine hochwichtige Erfindung ist, wohl aber ganz entschieden widerrathen werden muss. Die Schlussfolgerung, welche Hempel aus der längst bekannten Widerstandsfähigkeit des Nickels gegen Oxydation zieht, dass nämlich das Nickel aus diesem Grunde stets gut leitend bleibt, ist darum falsch, weil das Nickel überhaupt nie gut leitet, sondern im Gegentheile von allen bisher als Spitzenmaterial vorgeschlagenen Metallen weitaus den grössten Leitungswiderstand aufweist, wie

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien, III, 478.

Zehn solcher Spitzenbüschel mit zusammen 60 bis 70 Spitzen sollen nicht so hoch kommen, wie eine Stange alten Modells.

Zenger endlich sieht von der Anwendung einer Spitze an der Auffangvorrichtung überhaupt ganz ab, ersetzt sie vielmehr durch ein Ovoid. Dies wird experimentell in nachstehender Weise begründet. Lässt man bei den auf Seite 27 beschriebenen Experimenten die Entladung zwischen Condensatorplatte und Auffangvorrichtung erfolgen, so tritt eine Funkenentladung, also eine blitzähnliche Erscheinung ein, wenn die mit einer Spitze versehene Auffangvorrichtung 45 bis 50 Centimeter von der Condensatorplatte entfernt ist; endet die Auffangvorrichtung in einem Ovoide, so erfolgt der Funke erst bei einer Entfernung von nur 10 Centimeter und bei Anwendung einer Kugel auf 8 Centimeter. Da nun, schliesst Zenger, die Blitzentladung zu vermeiden und die ruhige büschelförmige Ausströmung zu befördern ist, erscheint die Verwendung eines Ovoides angezeigter als die einer Spitze. Das Ovoid ist überdies in Folge seiner stärkeren Masse der Gefahr des Schmelzens weniger ausgesetzt als eine feine Spitze.

2. Die Fangstange.

Die Auffangstangen sind aus Eisen herzustellen. Ihr Querschnitt soll am oberen Ende kein geringerer sein als jener der weiter unten zu besprechenden Leitung. Der Querschnitt am unteren Ende ist abhängig von der Länge der Auffangstange. In früherer Zeit bediente man sich zur Herstellung der Fangstangen prismatischen Stabeisens, und zwar auf Anempfehlung der französischen Commissionen hin. Es ist jedoch, wie aus den oben

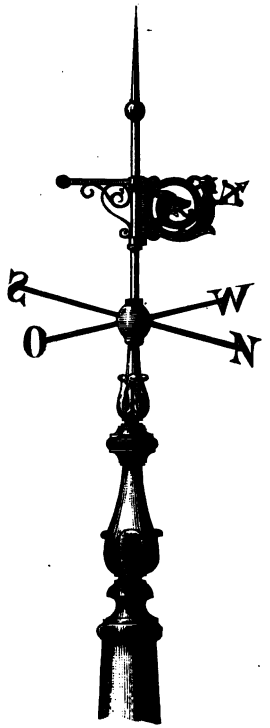
gegebenen theoretischen Erörterungen leicht einzusehen, ganz unzweckmässig, den viereckigen Querschnitt beizubehalten; der Querschnitt soll vielmehr an jeder Stelle der Stange ein Kreis sein. Gleichgiltig ist hingegen, ob die Fangstange von ihrer Basis bis zur Spitze gleichmässig kegelförmig zuläuft oder ob sie nur in ihrem oberen Theile kegelförmig, im unteren aber cylindrisch geformt ist. Kann die Stange nicht in einem Stücke hergestellt werden, so sind ihre einzelnen Theile durch Schweissung sorgfältig miteinander zu vereinigen. Ein Verschrauben der einzelnen Theile untereinander ist nicht zu empfehlen. Werden Eisenröhren zur Herstellung der Fangstange benützt, so ist darauf zu sehen, dass diese eine genügende Wandstärke besitzen und falls mehrere Stücke miteinander zu verbinden sind, dass die Fangstange in ihrer ganzen Länge dasselbe Leitungsvermögen besitzt. Hieraus folgt, dass eine Verschraubung und Verkittung, wie sie bei Gasleitungen vorkommt, hier unzulässig ist.

Fig. 18.

Eine Fangstange einfachster Form ist in Fig. 18 dargestellt; der Zinkblechmantel, welcher die Stange in ihrem unteren Theile umschliesst, verleiht der Fangstange nicht nur ein gefälligeres Aussehen, sondern dient auch dazu, das Eindringen von Regenwasser an der Befestigungsstelle der Stange auf dem Dache zu verhindern. Dieser Umstand ist wichtig, weil durch Nichtbeachtung desselben einerseits

das Holz des Dachstuhles leicht in Fäulniss geräth, andererseits eine Ableitung der Elektricität nach unerwünschten Richtungen eintreten könnte.

Fig. 19.



Bei Gebäuden, welche in der einen oder anderen Art architektonisch ausgeschmückt werden, hat auch die Bedachung in der Regel keine einfache Form, sondern ist vielmehr durch Giebeln, Thürmchen und dergleichen geziert. Die Dächer von derlei Gebäuden tragen häufig Windfahnen, bei grösseren Gebäuden wohl auch Flaggenstangen oder Flaggenstangen combinirt mit Windfahnen. Da derartige Aufsätze wegen ihrer Höhe, ihres Materiales und ihrer gewöhnlich zahlreichen Spitzen und Kanten ohnehin unbedingt in die Blitzableitung einbezogen werden müssen, erscheint es in vielen Fällen zweckmässig, sie selbst gleich als Fangstange zu benützen und dem entsprechend zu gestalten. Der Blitzableiter bildet dann, in dieser Weise ausgeführt, eine Zierde des Gebäudes, wie dies z. B. aus Fig. 19 zu ersehen ist.

Unterhalb der Spitze ist die Windfahne angebracht, die man, um ein Rosten zu vermeiden, zweckmässig aus Rothkupfer verfertigt. Unterhalb derselben zeigt ein

mit den entsprechenden Buchstaben versehenes horizontales Kreuz die vier Weltgegenden an. Der ornamentirte Mantel der Fangstange kann aus Zinkblech oder Zinkguss hergestellt sein. Es ist zweckmässiger, drehbare Ornamente, wie eben die Windfahne, in der Weise an der Stange zu befestigen, dass sich erstere um die letztere dreht, als auch die Stange an der Drehung theilnehmen zu lassen. Letzteres würde nämlich eine Unterbrechung der Auffangstange erfordern, was für die vollständige Sicherung einer gleichförmigen Leitungsfähigkeit in der ganzen Länge der Stange unvortheilhaft wäre.

Flaggenstangen aus Holz versieht Berghausen mit einem soliden Metallknopfe, auf welchem eine Platinspitze aufgesetzt ist; das Drahtseil der Leitung schliesst sich an den Metallknopf an. Um bei Reparatur, Anstrich u. dgl. die Stange ohne Beschädigung des Ableiters umlegen zu können, erhält das Drahtseil der Leitung unmittelbar über dem Dache eine entsprechende Verschraubung. In dieser Weise hat Berghausen in Köln die Fangstangen auf den Thürmen der neuen Elbebrücken bei Hamburg und Harburg, auf der Rheinbrücke bei Hochfeld u. s. w. eingerichtet. Bis zu 6 Meter Höhe hat man auch konische schmiedeeiserne Röhren zu Flaggenstangen, durch welche einfach das Drahtseil durchgeführt wird. Unter dem Knopfe ist die Rolle mit der Leine zum Aufziehen der Flagge. Fig. 20 zeigt, in welcher Weise auch eine Windfahne auf der Flaggenstange angebracht werden kann.[1])

---

[1]) Dr. O. Buchner, Construction und Anlegung der Blitzableiter, p. 42.

Auch die auf Kirchthürmen zur Zierde häufig aufgesetzten Ornamente, wie Kreuz, Adler, Hahn u. dgl.,

Fig. 20.

erfordern besondere Beachtung, speciell dann, wenn sie drehbar sein sollen. Hat man auf einem vollendeten

Thurme erst nachträglich einen Blitzableiter aufzustellen, so ist die Aufstellung einer Fangspitze oberhalb des abschliessenden Ornamentes häufig nicht gut ausführbar. Man hilft sich dann in der Weise, dass man gleich oberhalb des Thurmknopfes um die das Ornament tragende Stange ein kupfernes Halsband anlegt und dieses mit vier, etwa um 45 Grad geneigten Auffangspitzen versieht. Sind spitzige und scharfkantige Theile des Ornamentes in irgend einer Weise gegen das Rosten geschützt, so kann sogar von der Anbringung einer eigenen Fangspitze überhaupt abgesehen werden; die Leitung wird dann direct an den Träger des Ornamentes angeschlossen.

Fig. 21.

Sind keine besonderen Schwierigkeiten zu umgehen, so versieht man einen Thurm stets mit einer besonderen Auffangstange. In welcher Weise dies erfolgt, möge nachstehendes Beispiel lehren. In vielen Gegenden herrscht der Gebrauch, über das Kirchthurmkreuz, wohl auch an Stelle desselben einen Hahn zu setzen, der, abgesehen von seiner symbolischen Bedeutung, gleichzeitig auch als Wetterfahne zu dienen hat. Dann kann die Anordnung derart sein, wie dies Fig. 21 darstellt. Die Stange, welche das Kreuz trägt, durchsetzt den Thurmhelm und ist innerhalb desselben an eisernen Klammern fest verschraubt. Oberhalb des Kreuzes be-

der Fangstange zusammenfällt und dessen Basis ein Kreis bildet mit einem Radius gleich der Höhe des Blitzableiters. Diese Fixirung des Schutzraumes wird in folgender Weise begründet. Eine Gewitterwolke nähert sich seitlich dem Blitzableiter. Man zieht von der Wolke eine Linie zur Blitzableiterspitze und eine Linie senkrecht zur Erde; die Entladung der Wolke erfolgt dann offenbar durch den Blitzableiter, wenn die zur Erde gezogene Linie gleiche Länge hat als die die Wolke und die Blitzableiterspitze verbindende Linie.

Firmin Larroque,[1]) Melsens u. A. halten die Bestimmung des Schutzraumes überhaupt für unbestimmbar und sehen die Wirksamkeit der Blitzableiter eigentlich nur in der Ableitung des Blitzstrahles von der Wolke zur Erde. Die Höhe der Fangstange wird daher auch als ziemlich gleichgiltig betrachtet, und zwar umsomehr, als sie im Vergleiche zur Entfernung der Wolken doch nur selten in Betracht gezogen werden kann; hingegen legt man auf eine grosse Anzahl von Spitzen und Leitungen Werth und sieht nur hierin einen wirklich sicheren Schutz.

3. Die oberirdische Leitung.

Die Ansichten über eine zweckmässige Herstellung der Leitung, d. h. des Verbindungsgliedes zwischen Fangstange und Erdleitung, gehen womöglich noch weiter auseinander als jene über den sogenannten Schutzraum. Die Ursache dieser Erscheinung liegt nicht nur in dem Umstande, dass uns die Stärke, welche ein

---

[1]) Firmin Larroque, La foudre et les paratonnerres, La lumière électrique, T. XIV, p. 172.

Blitzschlag erreichen kann, unbekannt ist, sondern auch darin, dass hierbei vielerlei Verhältnisse in Betracht zu ziehen sind. Es ist Rücksicht zu nehmen auf die Leitungsfähigkeit des Materiales für elektrische Ströme, auf die Widerstandsfähigkeit des Materiales gegen elektrische Einwirkungen und gegen die Einwirkung der Atmosphärilien; auf seinen Schmelzpunkt, seine Festigkeit, sein Gewicht, seine Geschmeidigkeit bei der Herstellung der Leitung, auf die Kosten, auf die äussere Form u. s. w.

Es ist im Vorhinein klar, dass man als **Leitungsmaterial** nur einen guten Leiter der Elektricität, also ein Metall wählen wird. Bekanntlich ist aber auch das Leitungsvermögen der verschiedenen Metalle keineswegs dasselbe, sondern ein sehr verschiedenes. So giebt Karsten an für:

	Bei Null Grad
Silber	136·25
Kupfer	100·00
Zinn	30·84
Messing	29·33
Eisen	17·74
Blei	14·62
Platin	14·16

Sind die edlen Metalle schon wegen ihres Preises von der Anwendung zu Leitungen ausgeschlossen, so erfährt die Auswahl des Materiales noch durch andere Umstände eine erhebliche Einschränkung. Zinn und Zink sind zu spröde und werden zu leicht brüchig. Messing, in früherer Zeit in Form von Drahtseilen häufig benützt, hat sich gar nicht bewährt. Es ändert sehr rasch sein Gefüge, indem es krystallinisch wird,

Sprünge und Risse bekommt und auch den Einwirkungen elektrischer Ströme sehr schlecht widersteht.[1]) Die Anwendung des Bleies ist nicht zu empfehlen, da es durch sein bedeutendes Gewicht die zu schützenden Objecte zu stark belästet, eine verhältnissmässig geringe Leitungsfähigkeit und einen niedrigen Schmelzpunkt besitzt. Somit bleibt uns nur mehr die Wahl zwischen Eisen und Kupfer. Zieht man nur das elektrische Leitungsvermögen dieser beiden Metalle in Betracht, so muss man sich, wie obenstehende Tabelle zeigt, unbedingt für das Kupfer entscheiden.

Für die Anwendung des Kupfers sprechen auch noch folgende Umstände: das Kupfer widersteht sehr gut den Einwirkungen der Luft, belastet bei hinreichender Festigkeit und Leitungsfähigkeit die zu schützenden Objecte am wenigsten, lässt sich leicht biegen und stücken und erleichtert dadurch wesentlich die Herstellung oder Reparatur einer Anlage. Hingegen besitzt das Eisen eine grössere Festigkeit und Dauerhaftigkeit in Bezug auf mechanische Einwirkungen, erhält durch elektrische Ströme ein festeres Gefüge, während das Kupfer durch diese nach und nach spröde wird, schmilzt bei höherer Temperatur als das Kupfer und ist billiger als dieses. Das Eisen rostet aber leicht und erleidet dadurch eine successive Verminderung seiner Leitungsfähigkeit; überdies kann das Rosten an Verbindungsstellen die metallische Continuität der Leitung zerstören, falls hierauf nicht besondere Aufmerksamkeit bei Her-

[1]) Ausführliche Angaben hierüber sehe man nach in: Kunst- und Gewerbeblatt, herausgegeben vom polytechn. Ver. für das Königreich Bayern, XXVIII, 148—160; Karsten, Encyklopädie der Physik, XX, 79.

stellung der Leitung verwendet wurde. Dem Rosten kann übrigens durch Anwendung von verzinktem Eisen begegnet werden und die Schwierigkeiten bei der Montage einer Eisenleitung werden geringer, wenn Eisendrahtseile an Stelle der Stangen zur Anwendung gelangen.

Nach F. Neesen[1]) kommt bei der Wahl des Leitungsmateriales das bessere Leitungsvermögen des Kupfers direct überhaupt nicht in Betracht, weil ja doch ein unvermeidlicher weitaus grösserer Uebergangswiderstand bei der Erdleitung in jeder Blitzableitung vorhanden ist. Im Vergleiche zu diesem sehr bedeutenden Widerstande verschwindet der Unterschied im Leitungsvermögen zwischen Eisen und Kupfer. Derselbe macht sich aber indirect geltend.

„Nehmen wir z. B. eine Stange von $^1/_2$ Quadratcentimeter Querschnitt, so haben 1000 Meter Eisen einen Widerstand von etwa 5 S. E., 1000 Meter Kupfer von nicht ganz 1 S. E. etwa 0·8 S. E. Dieser Unterschied fällt aber nicht ins Gewicht, wenn man bedenkt, dass der Widerstand der Erdleitung nothwendig grösser ist. Der Leitungswiderstand kommt aber indirect in Betracht. Denn eine andere Frage — und das ist die bestimmende — ist die nach der Erwärmung durch den Blitz und die dadurch hervorgerufene Gefahr der Schmelzung. Nehmen wir Eisen, so wird die entwickelte Wärme, da dieselbe proportional dem Widerstande ist, ungefähr sechsmal grösser sein wie beim Kupfer. Die Temperaturerhöhung ist nun proportional der ent-

[1]) F. Neesen: Ueber Gewitter und Blitzableiter, Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, II, p. 452.

wickelten Wärme und umgekehrt proportional der zu erwärmenden Masse und der specifischen Wärme, daher wird dieselbe beim Eisen bei gleichem Querschnitte fünfmal grösser wie beim Kupfer ausfallen."

„Der Schmelzpunkt des Eisens liegt nun allerdings auch höher wie der des Kupfers, indessen bei weitem nicht fünfmal so hoch. Daher muss bei der Wahl von Eisen ein grösserer Querschnitt genommen werden, um der Gefahr der Schmelzung mit derselben Sicherheit wie beim Kupfer vorzubeugen. Nimmt man den Querschnitt so an, dass die Temperaturerhöhung dieselbe beim Eisen und Kupfer ist, also etwa 2·5mal grösser beim Eisen, so hat Eisen den Vorzug, dass wegen der höheren Schmelztemperatur desselben die Gefahr des Schmelzens geringer ist."

Auch die Versuche von Melsens (Seite 59) sprechen dafür, dass der Unterschied im Leitungsvermögen zwischen Kupfer und Eisen bei der Wahl des Materiales direct keinen Einfluss hat. So hat sich auch in der That die Berliner Akademie trotz der vielen guten Eigenschaften des Kupfers für die Anwendung von Eisen entschieden. Die Anwendung desselben dürfte sich namentlich dann empfehlen, wenn die ganze Leitung nur in einfachen langen Linien verläuft, weil dann auch die Verlegungskosten dieses Materiales jene einer Kupferleitung nicht gar zu sehr überragen.

Wie gross ist der **Querschnitt** der Leitung zu wählen? Offenbar so gross, dass auch der stärkste Blitzschlag sicher zur Erde geleitet wird, ohne hierbei die Leitung zu beschädigen oder zu erhitzen. Wäre uns die Maximalstärke, welche eine Entladung atmosphärischer Elektricität erreichen kann, bekannt, so könnte der

Querschnitt der Leitung leicht und sicher berechnet werden. Da dies aber nicht der Fall ist, müssen wir die Bestimmung auf empirischem Wege versuchen. Wir wollen uns hierbei an die wiederholt citirte Abhandlung von G. Karsten halten.

Arago hat über eine grosse Anzahl von Blitzschlägen wohlbeglaubigte Daten gesammelt, aus welchen zu ersehen ist, dass Rundeisenstangen im Durchmesser von 13·54 Millimeter (sechs Pariser Linien) auch nach den heftigsten Blitzschlägen keine Spur einer Schmelzung zeigten. Wir können also mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, dass Eisenstangen von diesem Durchmesser alle Blitzschläge in entsprechender Weise zur Erde ableiten. Ob dieser Zweck auch durch schwächere Leitungen erreicht wird, ist hieraus allerdings nicht zu entnehmen. Die Leitungen, an welchen die erwähnten Blitzschläge beobachtet wurden, hatten Längen von 20 bis 30 Meter. Ist sonach eine Eisenleitung, deren Durchmesser 13·54 Millimeter beträgt, bei einer Länge von 20 bis 30 Meter vollkommen ausreichend, so können auf dieser Grundlage auch die Dimensionen für Blitzleitungen aus anderen Metallen leicht berechnet werden; es ergiebt sich dann für eine Kupferleitung von derselben Länge und Leitungsfähigkeit ein Durchmesser von 5·53 Millimeter.

Nehmen wir vorläufig an, dass die Sicherheit einer Leitung bei derselben Länge und aus demselben Metalle nur vom Querschnitte abhängt, so lässt sich die Stärke der Leitung durch das Gewicht der Längeneinheit ausdrücken, was für die Praxis bequemer ist, da die sichere Bestimmung des Querschnittes, z. B. bei Drahtseilen oder Blechen, umständlicher erscheint.

In nachstehender Tabelle sind nun die Gewichte in Grammen zusammengestellt, welche ein 1 Meter langes Stück erhalten muss, um ein gleiches Leitungsvermögen zu besitzen wie ein 13·54 Millimeter dicker Rundeisenstab. Zink und Blei wurden hierbei aufgenommen, weil diese bei Bauten häufig verwendeten Metalle für Nebenleitungen ab und zu in Betracht kommen könnten.

	Gewicht in Gramm für 1 Meter Länge	Querschnitt in Quadratmillimetern	Dicke bei massiven runden Stäben in Millimetern	Specifisches Gewicht des Materials
Eisen	1123	144	13·54	7·8
Kupfer	232	24	5·53	8·9
Zink	506	72	9·59	7·0
Blei	2736	240	17·48	11·4

Ebenso könnte man auch die Breiten, Durchmesser oder Wandstärken für Bleche, Drahtseile oder Röhren berechnen. Wie oben erwähnt wurde, verliert das Eisen, wenn es längere Zeit in Verwendung steht, durch Rosten an seiner Leitungsfähigkeit und ebenso nimmt auch die Leitungsfähigkeit des Kupfers mit der Zeit ab. Um bei Anlage von Blitzableitern trotzdem sicher zu gehen, wird man daher die oben angegebenen Gewichte etwas vergrössern müssen, wie ja ein ähnlicher Vorgang auch bei anderen baulichen Constructionen eingehalten wird. Karsten bestimmt daher das erhöhte Gewicht von einem Meter Eisenleitung zu 1200 Gramm und von einem Meter Kupferleitung zu 250 Gramm.

Die Leitungsfähigkeit einer Blitzleitung hängt bei einem und demselben Materiale aber nicht nur vom

Querschnitte, sondern auch von der Länge ab. Wären also jene Eisenleitungen, für welche sich das Gewicht von 1200 Gramm per Meter als widerstandsfähig für jeden Blitzschlag gezeigt hat, nur 20 Meter lang gewesen, so müsste das Gewicht eines Meters für eine l Meter lange Eisenleitung gleich sein $\frac{1200}{20}.l = 60.l$ und das für eine gleichwerthige Kupferleitung $12{\cdot}5.l$. Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass die ganze Berechnung darauf beruht, dass eine Eisenstange von 13·54 Millimeter Durchmesser und 20 Meter Länge jeden Blitzschlag zu leiten im Stande ist.

Karsten glaubt, dass obige Berechnung für Leitungen bis zu 30 Meter Länge zweckmässig anzuwenden sei, wenngleich die erhöhten Gewichte von 250 Gramm, beziehungsweise 1200 Gramm der Rechnung zu Grunde gelegt wurden; der geringe Mehraufwand an Material erhöht weder die Kosten erheblich noch erschwert er die Verlegung der Leitung. Bei langen Leitungen würden jedoch obige Ziffern zu ganz unnöthigen Metallmassen führen und somit wird für diese ein Einheitsgewicht von 210 Gramm bei Kupfer und von 1140 Gramm bei Eisen vorgeschlagen. Hieraus ergiebt sich für die Berechnung des Gewichtes einer längeren Kupferleitung die Formel $7.l$ und für Eisen $38.l$. Nach diesen Formeln sind auch die Gewichte per laufendes Meter Kupfer und Eisen in nachstehender Tabelle berechnet. (Siehe S. 106.)

Dieser Tabelle fügt Karsten bei, dass man im Allgemeinen wohl mit vier Stärken von Kupferstäben auskommen könne, und zwar 1. für Landkirchen und sehr gefährliche technische Anlagen (z. B. Pulverfabriken)

	Eisen			Kupfer		
	Gewicht pro Meter in Gramm	Durchmesser bei runden Stäben in Millimeter	Querschnitt in Quadrat-Millimeter	Gewicht pro Meter in Gramm	Durchmesser bei runden Stäben in Millimeter	Querschnitt in Quadrat-Millimeter
bis 30 Meter	1200	14·1	156	250	5·9	28
30—40 „	1520	15·9	197	280	6·3	32
40—50 „	1900	17.7	247	350	7·1	39
50—60 „	2280	19·4	296	420	7·8	47
60—70 „	2660	21·0	346	490	8·4	55
70—80 „	3040	22·4	395	560	9·0	63
90 u. darüber	3420	23·8	444	630	9·6	71

circa 600 Gramm Gewicht pro laufendes Meter Kupferleitung, 2. für Mühlen und grosse Gebäude circa 500 Gramm, 3. für mittlere Gebäude circa 350 Gramm, und 4. für kleine Gebäude circa 250 Gramm. Mit Rücksicht auf die oben citirte Erläuterung Neesen's wird zwar die Erhöhung des Leitungswiderstandes in Folge einer Verlängerung der Leitung gegenüber dem unvermeidlichen grossen Uebergangswiderstande bei der Erdleitung keine Rolle spielen, so dass also auf eine progressive Steigerung des Gewichtes pro laufendes Meter bei Zunahme der Leitungslänge verzichtet werden könnte, wenn nicht mit der Länge der Leitung auch die Gefahr einer Seitenentladung wachsen würde; aus diesem Grunde halten wir daher auch diese Steigerung des Gewichtes für empfehlenswerth.

Ferner ist zu obiger Art der Querschnittberechnung, beziehungsweise Bestimmung des Gewichtes pro laufen-

des Meter zu bemerken, dass sie nur angenähert gilt, bei speciellen Fällen aber den jeweiligen Umständen entsprechend corrigirt werden kann. Es werden z. B. ganz verschiedene Anforderungen an Leitungen gestellt, welche auf Häusern angebracht werden sollen, die auf verhältnissmässig trockenem Grunde, umgeben von anderen Gebäuden, stehen, und an solche auf einzeln stehenden Häusern auf sehr feuchtem Grunde, z. B. in Moorgegenden oder gar an Leitungen auf Schiffen. In den letzteren Fällen bietet das zu schützende Object nicht nur im grossen Umkreise über der Erd- oder Wasserfläche den höchsten Punkt dar, sondern das relativ gut leitende Wasser oder der wasserdurchtränkte Grund erfährt durch die Gewitterwolke eine viel stärkere Influenzwirkung als ein trockener Grund und veranlasst dadurch viel stärkere Entladungen zwischen Wolke und Erde.

Bezüglich der **Form** der Leitung ist zu bemerken, dass bis jetzt runde und viereckige Stangen, Drahtseile, Röhren und Bleche zur Anwendung gelangt sind. Die Anwendung vierkantiger Stäbe ist zur Herstellung der Leitung ebensowenig zu empfehlen, wie zu jener der Auffangstangen. (Seite 86).. Zweckmässig sind jedoch runde Kupferstäbe, und zwar nicht nur deshalb, weil sie ihres kreisförmigen Querschnittes wegen eine gleichmässige Dichte der Elektricität ermöglichen und dadurch Seitenentladungen erschweren, sondern auch deshalb, weil sie eine bequeme und sichere Verbindung der einzelnen Theile untereinander ermöglichen. Diese Vortheile besitzen allerdings auch runde Eisenstäbe; letztere bieten aber bei der Verlegung der Leitung grössere Schwierigkeiten dar als Kupferstäbe, da sie

ihrer geringen Leitungsfähigkeit wegen stärker genommen werden müssen und sich dann weniger leicht den Formen der Gebäude anschmiegen lassen. Eckige Stangen sind ihrer scharfen Kanten wegen auch mehr dem Rosten ausgesetzt als runde Stangen. Eisendrahtseile leiden an diesem Uebelstande in erhöhtem Masse, erleichtern aber wegen ihrer grösseren Geschmeidigkeit die Verlegung der Leitung. Dem Rosten des Eisens kann man durch Verzinken der Stäbe oder Drähte am besten entgegenwirken. Lackanstriche sind zu wenig haltbar und müssten daher, falls sie ihren Zweck erfüllen sollen, häufig erneuert werden.

Die Drahtseile im Allgemeinen zeichnen sich den massiven Stäben gegenüber nicht nur dadurch aus, dass sie, wie bereits erwähnt, die Verlegung der Leitung erleichtern, sondern auch dadurch, dass bei ihnen die durch Temperaturschwankungen bewirkten Aenderungen der Länge sich innerhalb der Windungen gewissermassen ausgleichen und daher keinerlei Spannungen in der Leitung aufkommen lassen. Solche können hingegen bei nicht ganz sachgemässer Verlegung von Kupfer- oder Eisenstäben eintreten und werden dann durch häufige Wiederholung den Zusammenhang und die Befestigung der Leitung verschlechtern. Ein Nachtheil der Drahtseile besteht ausser in der leichteren Oxydirung noch darin, dass Risse und Sprünge schwerer zu entdecken sind als bei Stableitungen.

Die Bandform erhöht allerdings nicht die gefällige Form der Anlage, erschwert auch im Vergleiche zu der Stabform die Verbindung der einzelnen Theile untereinander und kann ihrer Kanten wegen auch leichter zu Seitenentladungen Veranlassung geben. Hingegen

erleichtert sie die Verlegung und bietet bei demselben Materialaufwande eine grössere Oberfläche dar. Karsten bemerkt diesbezüglich: „Die Bandform halte ich für sehr gut, weil ich auf die bei ihr im Verhältniss zu den massiven Stäben grössere Oberfläche Werth lege." (Vergleiche auch Seite 62 u. f.) Denselben Vortheil, und zwar ohne den erwähnten Nachtheilen, würde eine Rohr form gewähren; die Anlegung solcher Röhrenleitungen scheitert jedoch an dem verhältnissmässig hohen Preise der Röhren und der Verbindung und Verlegung derselben.

4. Die Erdleitung.

Ein Blitzableiter kann nicht nur keine seiner schützenden Wirkungen ausüben, sondern wird eine geradezu gefährliche Einrichtung, wenn die Erdleitung nicht sorgfältig und sachgemäss hergestellt wurde. Der Zweck derselben ist bekanntlich, die auf den Blitzableiter übergeströmte Elektricität der Wolke an die Erde abzugeben, beziehungsweise die Neutralisirung der Wolkenelektricität durch die ungleichnamige Erdelektricität zu vermitteln. Da nicht die Erde selbst, sondern eigentlich die bedeutenden Wassermassen auf und in der Erde diesen Ausgleich zu vermitteln im Stande sind und diese Vermittlung auch thatsächlich vollführen, so muss offenbar die Erdleitung, d. h. das Verbindungsglied zwischen der oberirdischen Leitung und jenen Wassermassen, eben mit letzteren in möglichst gut leitender Verbindung stehen.

Schon Franklin verlangte eine sorgfältige Beachtung dieses Umstandes. Es geht dies namentlich aus einem Gutachten hervor, welches von einer Commission im

Jahre 1772 über die Errichtung von Blitzableitern auf den Pulvermagazinen von Purfleet abgegeben wurde.[1]) Hiernach wurde verlangt, dass am Ende jedes Magazines ein ziemlich tiefer Brunnen in oder durch den Kreidefelsen gegraben werde, um daselbst beständig wenigstens vier Fuss Wassertiefe zu haben, dass man in diesen Brunnen ein Bleirohr versenke und dessen oberes Ende mit dem $1^1/_2$ Zoll dicken Ableiter verbinde.

Seither wurden in Bezug auf Erdleitungen mannigfache gute und schlechte Vorschläge gemacht, deren vollständige Aufzählung hier zu weit führen würde. Hingegen wollen wir **Hemmer's** Ansichten (obwohl schon aus der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts) anführen, da sie vollkommen richtig sind und wir auch heute noch nichts wesentlich Besseres angeben können; sein Princip war: „Es ist nothwendig, dass man den metallenen Ableiter auch mit leitenden Theilen der Erde in Gemeinschaft bringe, damit dadurch ein ununterbrochener Leiter bis in ihr Ingeweid entstehe. Solche leitende Theile der Erde sind das Wasser. In dieses muss also der Ableiter versenkt werden...." Stehen grosse zusammenhängende Wassermassen nicht zur Verfügung, so muss er mit feuchter Erde, nämlich mit einem „Gemisch, worin Wasser mit der Erde in Menge verbunden ist", in möglichst innige Berührung gebracht werden.

Die Versenkung führte Hemmer nach Kuhn[2]) in der Weise aus, dass das Ende des Leiters doppelt gelocht und auf 5 bis 6 Zoll Länge mit einer Bleiröhre

[1]) Die Mitglieder dieser Commission waren: Cavendish, Watson, Franklin, Robertson und Wilson.

[2]) Karsten, Encyklopädie der Physik XX, p. 112.

von 1 Zoll Durchmesser aus „gesundem Tafelblei" durch starkes Vernieten verbunden wurde. In feuchter Erde, nämlich an Stellen, wo kein „Wasser" sich vorfand, geschah die Versenkung dadurch, dass in einer Entfernung einiger Fuss von dem Gebäude ein Loch von mindestens 11 bis 12 Fuss Tiefe gegraben und in dieses die Bleiröhre von gleicher Länge, nachdem man ihr vorragendes, mit dem Leiter verbundenes Ende in eine in der Erde gemachte Rinne vom Gebäude weg bis zur Versenkung eingelegt hatte, gesteckt wurde. Bei der Versenkung in „Wasser" war die Anordnung des unteren Theiles des Leiters im Allgemeinen dieselbe, die Länge desselben richtete sich aber nach dem niedrigsten Wasserstande und hier wurde zur Vorsicht die Bleiröhre durch einen unten zugespitzten Kupferstab metallisch verlängert und dieser Kupferstab in den Boden des Brunnens oder Wasserbettes u. s. w. einige Fuss tief eingeschlagen; jedoch hielt Hemmer das Einsenken des Ableiters in Gruben, wo das Regenwasser sich ansammelt, und in andere ähnliche Rinnen und Canäle für untauglich; das Einsenken des Leiters in trockene Erde auf einige Fuss Tiefe und gleichzeitiges Verzweigen der Leitung an ihrem unteren Ende, eine Methode, die man damals für ausreichend hielt, bezeichnete er als höchst gefährlich.

Sehen wir von der Anwendung des Bleies, durch dessen geringes elektrisches Leitungsvermögen der Uebergangswiderstand von der Leitung zu der Erde unnöthig vermehrt wird, ab, so können wir Hemmer's Vorschriften unsere Billigung kaum versagen. Leider wurden auch von anderen Seiten Vorschriften gegeben, die aber, wie namentlich die oberflächliche, offene Füh-

rung der Erdleitung nach Reimarus entschieden zu verwerfen sind. Diesen ist es zu verdanken, dass man selbst noch gegenwärtig sogenannte Blitzableiter findet, deren Leitung in trockener Erde in geringer Entfernung von der Erdoberfläche endet und dadurch einen Apparat schafft, der, weit entfernt das Gebäude zu schützen, vielmehr eine bedeutende Gefahr für dasselbe und seine Umgebung darstellt.

Strenge und sachgemässe Forderungen stellte jedoch die **französische Commission** von 1855 für die Herstellung von Erdleitungen auf. Hiernach wird für letztere ein Brunnen von solcher Tiefe verlangt, dass das Grundwasser auch bei der grössten Trockenheit noch 1 Meter hoch steht. In diesen ist ein gusseisernes Rohr von 12 bis 15 Centimeter Durchmesser im Lichten einzusenken, welches mit seitlichen Oeffnungen versehen ist, um dem Wasser das Eindringen zu gestatten; das Rohr reicht bis an die Erdoberfläche empor und wird durch ein eisernes Querstück mit der Leitung verbunden, welche innerhalb des Rohres bis auf den Grund des Brunnens reicht. Den Verschluss des Brunnens bildet eine Steinplatte. Man hat bei der Herstellung dieser Erdleitung dafür Sorge zu tragen, dass ein Untersuchen derselben von Zeit zu Zeit ohne Schwierigkeiten ausführbar erscheint. Soll ein Brunnen für mehrere Leitungen verwendet werden, so werden die Enden sämmtlicher Leitungen mit einer 10 bis 12 Centimeter starken Eisenstange verlöthet, worauf man diese in das Wasser einführt.

Schon vorhandene Brunnen können Verwendung finden, wenn sie nicht innerhalb des zu schützenden Gebäudes liegen. Auch wird auf folgendes Verhalten

aufmerksam gemacht. Ist das Grundwasser tief unterhalb des Erdbodens erst anzutreffen, so wird sich bei trockener Witterung der influenzirende Einfluss der Gewitterwolken allerdings auf die unterirdischen Wassermassen concentriren; tritt nun aber Regen ein, so entsteht an der Erdoberfläche, bis zu geringer Tiefe, eine leitende Schichte und diese wird nun, weil näher, offenbar eine stärkere Influenzwirkung als die Grundwassermasse erfahren. Ist Grundwasser erst in bedeutender Tiefe anzutreffen, so kann es leicht geschehen, dass zwischen der an der Erdoberfläche entstehenden leitenden Schichte und jener, in welcher das Grundwasser auftritt, eine Zeitlang keine leitende Verbindung besteht.

Ist nun die Erdleitung eines Blitzableiters zwar sorgfältig ausgeführt, aber hierbei nur auf die Verbindung mit dem Grundwasser Rücksicht genommen, so kann es leicht geschehen, dass der durch den Blitzableiter aufgefangene Blitzstrahl die stark influenzirte, also entgegengesetzt elektrische nasse Erdoberfläche der nur schwach elektrischen Grundwasserschichte vorzieht, d. h. dass er vom Blitzableiter auf die Erdoberfläche abspringt. Um dieser Gefahr vorzubeugen, empfiehlt die Commission, die Erdleitung in zwei Zweigen auszuführen, von welchen einer in der früher angegebenen Weise bis zum Grundwasser geführt wird, der andere aber unter der Oberfläche des Bodens verläuft und nur mit dieser in Verbindung gesetzt wird.

Kuhn[1]) will zu Erdleitungen nur eiserne, an verschiedenen Stellen ihrer Seitenfläche mit Oeffnungen versehene Röhren, die von innen und von aussen gut

[1]) G. Karsten, Encyklopädie der Physik, XX, p. 124. u. f.

verzinkt worden sind, verwendet wissen; die Wandstärke dieser Röhren soll mindestens der halben Dicke der oberirdischen Leitung gleichkommen. Die Röhren sollen mit möglichst wenig Biegungen verlegt und in ihrer ganzen Länge mit Verzweigungen versehen werden.

Besondere Sorgfalt erfordert die Einrichtung der Erdleitung auf Felsengrund, wenngleich durch derartige Verhältnisse das Eintreten von Blitzschlägen nicht begünstigt wird. Nach Kuhn hat man in diesem Falle an den niedersten Stellen der Umgebung einige Punkte auszuwählen, die in möglichst grosser Entfernung von dem Gebäude sich befinden und geeignet sind, einige Brunnenschachte, wenn auch von geringerer Weite, ausbohren zu können. Die Leitung soll dann, mehrfach sich an verschiedenen Stellen verzweigend, unter der Erdoberfläche, wenn dies angeht, bis zu den Brunnen geführt werden. Jedenfalls erscheint es als nothwendig, wenn das Gebäude dauernd gegen Blitzwirkung geschützt werden soll, dass man in einer grösseren Ausdehnung auf der ganzen Strecke, welche die Leitung im Boden einnimmt, die Oberfläche mit einer dicken Schichte von Erdmassen bedeckt, die bei eintretenden Regengüssen die leitende Verbindung mit dem natürlichen Erdreich der näheren Umgebung u. s. w. herzustellen vermag.

W. Holtz[1]) verlangt, dass die Erdleitung aus demselben Materiale hergestellt werde wie die oberirdische Leitung, nach seinem Vorschlage also aus Kupfer. Das Ende der Erdleitung bildet eine Kupferplatte von 2 Milli-

---

[1]) W. Holtz, Ueber die Theorie, die Anlage und die Prüfung der Blitzableiter, p. 65 u. f.

meter Dicke. Obwohl letztere auf die Wirksamkeit keinen Einfluss nimmt, darf sie doch nicht zu schwach gewählt werden, weil die Platte sonst zu rasch zerstört würde. Als geeignetste Form wird sie gerade für alle jene Fälle empfohlen, in welchen man das Grundwasser mit dem Spaten erreichen kann. Gelangt man zu jenem nur noch durch Bohrung, so tritt an Stelle der geraden Platte eine cylindrische Fläche. Die Platte ist ihrer ganzen Breite nach, und zwar nicht an der Kante, sondern in der Mitte mit dem Leitungsende zu vernieten und überdies noch an einigen Stellen zu verlöthen. Die Löthstellen, aber nur diese, können einen schützenden Ueberzug erhalten, während die Platte selbst ihre metallische Oberfläche behalten muss.

Bezüglich der Grösse der Platten werden folgende Dimensionen vorgeschlagen: Die Platte einer jeden Leitung, welche mit keiner anderen Leitung communicirt, sei $^1/_2$ Quadratmeter gross, wenn sie in Grundwasser gegraben ist, $^1/_4$ Quadratmeter in einem Brunnen oder anderen Gewässer. Eine Platte, welche mit einer anderen Leitung in Verbindung steht, sei $^1/_4$ Quadratmeter gross, wenn sie in Grundwasser gegraben ist, $^1/_8$ Quadratmeter in sonstigen Gewässern. Für Platten, die mit mehreren Leitungen in Verbindung stehen, findet man die erforderliche Grösse, wenn man $^1/_2$ Quadratmeter durch die Zahl jener Leitungen dividirt; dies giebt die Plattengrösse bei Einsenkung der Platte in Grundwasser, während bei anderen Gewässern hiervon die Hälfte zu nehmen ist. An Orten, wo das Grundwasser nicht mehr zu erreichen ist, sei jede Platte doppelt so gross, als sie im Grundwasser sein müsste, also 1 Quadratmeter, getheilt durch die Zahl der mit-

einander verbundenen Leitungen. Gar keiner Platte bedarf es, wenn man die Leitung mit einer Gas- oder Wasserleitungsröhre verbinden kann (vergleiche Schluss dieses Abschnittes) oder mit einer metallischen Pumpe, deren im Wasser befindliche Oberfläche gleich der sonst nöthigen Grösse der Platte ist.

Auch G. Karsten[1]) schlägt als Endigung der Erdleitungen Platten vor und empfiehlt verzinnte Kupfer- oder Eisenplatten. Wo dauernde Wassermassen in der Erde nicht zu erreichen sind, muss die Endigung der Bodenleitung auf einer künstlichen grossen leitenden Fläche, am besten Coaksbettung, ausgebreitet werden; in diesem Falle empfiehlt es sich, mehrere Erdplatten und von etwa dreimal grösserer Gesammtfläche anzuwenden. Bei sehr ausgedehnten Gebäuden mit vielen Auffangstangen und vielleicht auch mit erheblichen Nebenleitungen kann die Anlage mehrerer Bodenleitungen und die Verbindung derselben untereinander zweckmässig sein. So richtig es ist, Gas- und Wasserleitungen in die Ableitung einzuschalten, um die Elektricität nicht zum Uebersprungen aus der Blitzableitung in jene Leitung zu veranlassen, so wenig kann die Benützung derselben an Stelle der Bodenleitung empfohlen werden.

Callaud[2]) benützt an Stelle der Erdplatten eine Vorrichtung, die er für den Abschluss der Erdleitung für besonders geeignet hält. An das Ende der Leitung wird eine Art Anker aus galvanisirtem Eisen, etwa in der Form, wie ihn Fig. 25 darstellt, verfertigt. Derselbe besitzt vier verticale, nach aufwärts gerichtete Arme

[1]) G. Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektricität des Gewitters und die Wirkung der Blitzableiter, p. 43.

[2]) A. Callaud, Traité des paratonnerres, p. 122.

und vier nach abwärts gehende Spitzen. Die ganze gut galvanisirte Vorrichtung wird in einen Korb aus grobem Flechtwerk eingesetzt (Fig. 26). Noch besser ist es, das Flechtwerk durch Eisendrahtnetze zu ersetzen. Den zwischen dem Anker und dem Korbe bleibende Raum füllt man mit Coaksstücken aus, die, um grössere Zwischenräume zu vermeiden, fest hineingedrückt werden. Der Korb wird sodann durch einen auf den

Fig. 25.

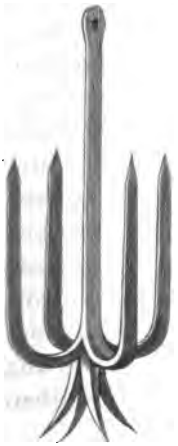


Fig. 26.

Rändern gut aufsitzenden Deckel verschlossen und in feuchte Erde oder Wasser versenkt. Der Zweck dieser Anordnung ist, durch Anwendung des porösen und gut leitenden Materiales (Coaks) eine möglichst grosse Berührungsfläche zwischen Wasser und dem Ende der Leitung herzustellen.

Auch die Gutachten, welche von der preussischen Akademie der Wissenschaften in den Jahren 1876 bis 1880 abgegeben wurden, beschäftigen sich mit der Frage

der Erdleitungen. Es wird hierin namentlich darauf aufmerksam gemacht, dass die Wirkungsfähigkeit einer Erdleitung durch Theilung der Platte und speciell durch Anwendung von Metallnetzwerk ohne Erhöhung des Materialaufwandes wesentlich erhöht werden könne. Dies veranlasste Ulbricht[1]) zu einer mathematischen Untersuchung der Frage, wodurch er die Auffindung einer praktisch verwerthbaren Form der Erdleitung erreichte. Als Material für die Endigung der Erdleitung empfiehlt Ulbricht das Kupfer, weil bei den verhältnissmässig leichten Constructionen das Eisen zu rasch zerstört wird, massigere Constructionen hingegen die Formgebung und Bearbeitung erschweren würden.

Ulbricht gelangte auf Grund seiner mathematischen Untersuchungen zu folgenden Resultaten. Die Wirkung der Erdleitung lässt sich bei geringerem Materialaufwande steigern: 1. Durch stab- oder drahtförmige Ausdehnung der cylinderförmigen Elektrode (der Endigung der Erdleitung); 2. durch schmale bandförmige Ausbildung der Platte; 3. durch Ausdehnung und gleichzeitige Verschmälerung einer ringförmigen Platte, und endlich 4. durch fortgesetzte Theilung der Platte unter gleichzeitiger Verbindung der einzelnen Theile untereinander, d. h. durch Anwendung der Netzform.

Zur Herstellung des Netzes dient ein Kupferdraht von 2·5 Millimeter Durchmesser, von welchem dieselbe Dauerhaftigkeit zu erwarten ist wie von einer 2 Millimeter dicken Kupferplatte. Eine Maschenweite von 40 Millimeter bei einer Breite des Netzbandes von

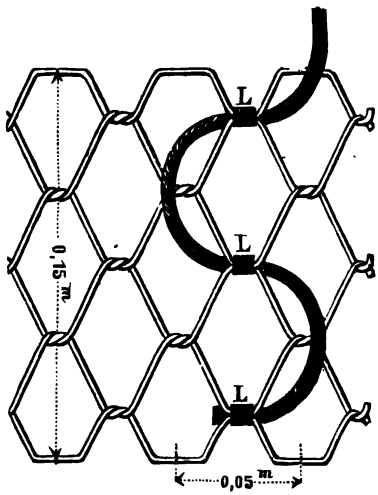
---

[1]) R. Ulbricht, Ueber die zweckmässige Anordnung von Erdleitungen. Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, IV, p. 18.

160 Millimeter erwies sich mit Hinblick auf die Steifigkeit der Construction und überhaupt der praktischen Verwendung als zweckmässigste Dimension. Dieses Netzband wird mit dem Leitungsende an mehreren Stellen *L* (Fig. 27) durch Drahtbund und Löthung verbunden.

In welcher Art ein derartiges Netzband zu versenken ist, hängt natürlich von localen Verhältnissen ab. Wo keine oder nur unbedeutende Erdarbeiten erforderlich sind, bedient man sich ausgedehnter grossflächiger Formen, also z. B. der Platten- oder Bandform. Zeigt der Boden eine derartige Beschaffenheit, dass für die Versenkung der Erdleitung nur durch Bohrung gesorgt werden kann, so muss man zur Verwendung eines langen schmalen Cylinders seine Zuflucht nehmen, dabei aber Sorge tragen, dass dieser vollständig vom Grundwasser umspült wird, da bei Nichtbeachtung dieser Forderung eine sichere und ausreichende leitende Verbindung mit der feuchten Erde nicht zu erreichen ist.

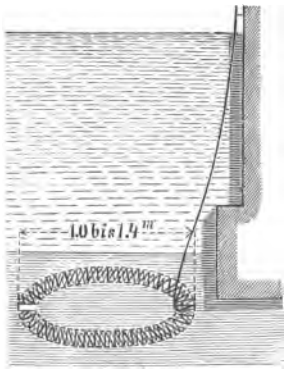
Fig. 27.



Fordern die Bodenverhältnisse ein Eindringen in nur mässige Tiefen, in durchfeuchteten Boden, so giebt man einem flachliegenden Körper den Vorzug. An Stelle der massiven oder ringförmigen Platte tritt hier vor-

theilhaft ein aus Netzwerk gebildeter Ring, der Netzring, wie einen solchen Fig. 28 veranschaulicht. Ein aus Kupferdraht geflochtenes Netzband lässt sich in beliebigen Längen vorräthig herstellen und nach den localen Verhältnissen leicht in die Form eines weiteren oder engeren Flachringes bringen. Auch ein für einen bestimmten Ringdurchmesser bereits zugeschnittenes Band kann noch durch Strecken- oder Offenlassen eines Ringstückes in erweiterter Form verlegt werden, wodurch eine derselben entsprechende Widerstands-Verminderung zu erreichen ist. Dies ist als ein Vortheil des Netzringes zu betrachten, da es leicht vorkommen kann, dass der Boden eine geringere Leitungsfähigkeit zeigt, als erwartet wurde, dass daher die Vergrösserung der Elektrodenfläche nothwendig erscheint. Ulbricht liess sich einen Netzring von 1·42 Meter äusserem und 1·10 Meter innerem Durchmesser anfertigen und führte mit diesem und einer vollen Quadratplatte von 1 Meter Seitenlänge vergleichende Versuche durch; hierbei ergab sich bei einer Eintauchung beider Elektroden in die Elbe für die Quadratplatte ein Uebergangswiderstand von 35·5 S. E. und für den Netzring ein solcher von 32·5 S. E. Auch spätere Versuche mit in die Erde verlegten Platten und Netzbändern ergaben günstige Resultate. Den ökonomischen Vortheil, der durch die Anwendung von Drahtnetz erzielt wird, er-

Fig. 28.



sieht man aus der Vergleichung einer Quadratplatte mit einem ihr äquivalenten Netzringe der vorbeschriebenen Construction; letztere muss bei Vergleichung mit einer Quadratplatte von 1 Meter Seitenlänge einen äusseren Durchmesser von 1·26 Meter und eine Netzbandlänge von 3·45 Meter haben. So ergiebt sich dann folgendes Gewichtsverhältniss:

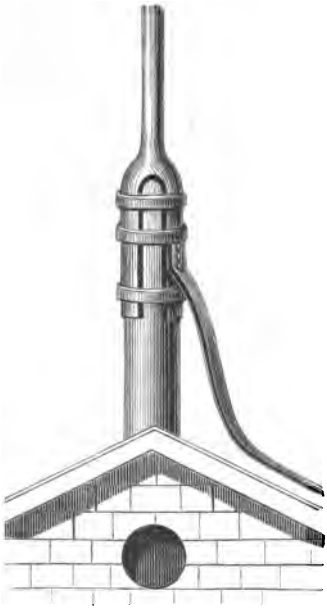
Die Quadratplatte, 1 Millimeter stark, wiegt 8·9 Kgr.
„ „ 2 „ „ „ 17·8 „
der Netzring wiegt . . . . . 1·64 „

Hierzu mag noch bemerkt werden, dass Ulbricht den Preis für 1 Kgr. Netzband auf etwa 3·5 Mark veranschlagt.

Fassen wir sämmtliche Arbeiten, Vorschläge u. dgl., welche in Bezug auf Erdleitungen gemacht wurden, zusammen, so ergiebt sich, dass allgemein giltige, erschöpfende Vorschriften zur Herstellung derselben nicht gegeben werden können. Es hat vielmehr bei jeder Anlage einer Erdleitung eine sorgfältige und fachmännische Prüfung nicht nur des durch einen Blitzableiter zu schützenden Objectes, sondern auch dessen Umgebung stattzufinden. Erst die genaue Kenntniss der Bodenverhältnisse ermöglicht eine zweckmässige Construction der Erdleitung. Eine solche setzen auch die meisten Vorschläge voraus, wie z. B. aus jenen von Holtz (Seite 114), Karsten (Seite 116) u. A. zu ersehen ist. Bezüglich des Materiales ist man allerdings insoweit einig, dass ausschliesslich galvanisirtes Eisen oder Kupfer zur Anwendung empfohlen wird. Die Grösse der Erdplatten wird aber sehr verschieden bemessen. Uns erscheint hingegen, natürlich innerhalb gewisser Grenzen, die Lage derselben wichtiger. Eine grosse Platte in trockener Erde leistet nichts, während eine kleine Platte,

der Fangstange der Erde verhältnissmässig nahe liegt, bei Strohbedachung falls das Stroh bis zur First hinauf durch Drähte gehalten wird und endlich bei Gebäuden, deren Bedachung man von Metalltheilen frei halten will, wie dies z. B. bei Pulvermagazinen der Fall ist.

Fig. 29.

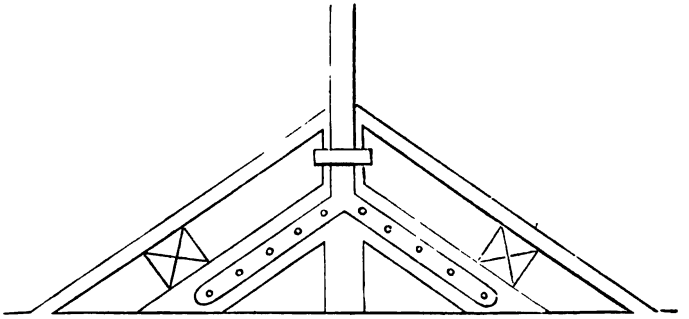


Die Holzsäule kann beliebig tief in das Gebäude hineinreichen und die First 1 bis 2 Meter überragen. Ihre Befestigung erfolgt an den Kehlbalken. Je nach der Höhe der Fangstange und der Säule giebt man letzterer eine Stärke von 10 bis 15 Centimeter. Die Verbindung der Holzsäule mit der Fangstange wird dadurch bewirkt, dass man an das untere Ende der Fangstange eine aus starkem Eisenbleche geschmiedete Kappe anschweisst, die Fangstange mit der Kappe auf das zugehauene Ende der Holzsäule aufsetzt und mit Nägel, die in horizontaler Richtung durch die Kappe in die Holzsäule getrieben werden, befestigt.

Sollte es aus irgend einem Grunde wünschenswerth erscheinen, so kann auch von der Zusammenschweissung der Kappe mit der Fangstange Abstand genommen und erstere mit letzterer durch Verschraubung verbunden werden.

Eine zweckmässige Verbindung der Fangstange mit einer Holzsäule veranschaulicht auch Fig. 29. An das untere Ende der Fangstange sind parallel zu einander verlaufende Stützen angeschweisst, die durch aufgeschweisste Ringe stark in das Holz hineingepresst werden. Diese gabelförmigen Stützen können allerdings auch durch Verschraubung auf der Holzsäule befestigt werden, doch ist die erstangegebene Verbindungsweise vorzuziehen.

Fig. 30.



Dieselbe Befestigungsart ist auch bei Aufstellung von Blitzableitern auf Masten, Helmstangen u. dgl. zu empfehlen.

Sonst häufig beliebte Befestigungsarten der Fangstange sind in den Figuren 30, 31, 32 und 33 abgebildet. In Fig. 30 sind an das untere Ende der Fangstange zwei Eisenschienen angeschweisst oder durch Verschraubung befestigt, durch welche die Verbindung mit dem betreffenden Gebinde des Dachstuhles bewirkt wird. Diese Befestigungsweise zeichnet sich allerdings durch Einfachheit aus, ist aber selbstverständlich nur für kurze Fangstangen verwendbar.

befestigen. Principiell ist gegen eine solche Anordnung nichts einzuwenden, nur sollte hierdurch die Controlirung der Verbindungsstelle nicht erschwert werden. Bei Anwendung metallischer Fangstangen ist hiermit allerdings auch ein unnützer Materialaufwand verbunden, indem die Fangstange aus der Leitung mehr oder weniger vollkommen ausgeschlossen wird.

Fig. 40.

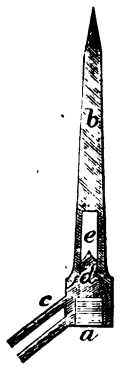
Eine solche Verbindung wurde z. B. von L. Klasen für eine Auffangstange aus Rundeisen und ein Kupferdrahtseil von 10 Millimeter Durchmesser angegeben.[1]) Auf das obere Ende der eisernen Stange (Fig. 40) ist nämlich eine ausgedrehte gusseiserne Kugel aufgeschoben, die unten eine seitliche Oeffnung hat, durch welche das Drahtseil gesteckt ist. An dem Ende des Drahtseiles wird ein kurzer Zapfen aus Kupfer mit Schlagloth angelöthet, der gut in das Loch der Kugel passt und oben einen Ansatz mit Schraubengewinde hat, worauf die kupferne Auffangspitze aufgeschraubt ist. Die gusseiserne Kugel verbindet also die drei Theile miteinander, wobei aber die eiserne Stange nichts weiter mit der Ableitung zu thun hat, sondern nur als Träger der Auffangspitze und des Drahtseiles dient; das letztere ist um die Stange herumgeschlungen und dann entsprechend weitergeführt.

---

[1]) L. Klasen, Die Blitzableiter in ihrer Construction und Anlage, p. 24.

Zwarg in Freiberg[1]) verbindet die Fangspitze mit dem Ableitungsdrahte in der Weise, dass er an dem unteren Theile *a* der Spitze (Fig. 41), der als Schraubenmutter zum Aufschrauben auf die schmiedeeiserne Stange ausgebildet ist, eine seitlich abzweigende Hülse *c* anbringt, in welche der Leitungsdraht eingelöthet wird. Dieser untere Theil *a* ist oben mit einer Schraube *d* versehen, die in eine kleine vergoldete Spitze *e* ausläuft und über welche die eigentliche Fangspitze *b* geschraubt wird. Die kleine Spitze *e* dient nur aushilfsweise als Fangspitze, wenn die eigentliche Spitze *b* behufs Neuvergoldung entfernt werden muss. Die Hülse *c* kann auch aus zwei Theilen gemacht werden, von welchen der eine aus einem Stücke mit dem unteren Theile von *d* besteht, der andere, in welchem der Leitungsdraht eingelöthet ist, hingegen erst durch eine Schraubenmutter mit ersterem verbunden wird. Bei dieser Construction kann der Leitungsdraht mit Hartloth eingelöthet werden, was bei der vorigen Anordnung wegen Beschädigung der Vergoldung der kleinen Hilfsspitze *e* nicht geschehen konnte.

Fig. 41.



Wir begnügen uns mit diesen Beispielen von Verbindungsarten der Leitung mit der Fangspitze, beziehungsweise Fangstange, und weisen nur noch auf die bereits (Seite 76 u. f.) beschriebenen Verbindungen hin, bevor wir zu den **Verbindungen der Leitungsstücke**

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin, II, 244; daselbst sind verschiedene Verbindungsarten beschrieben, die im Deutschen Reiche patentirt wurden.

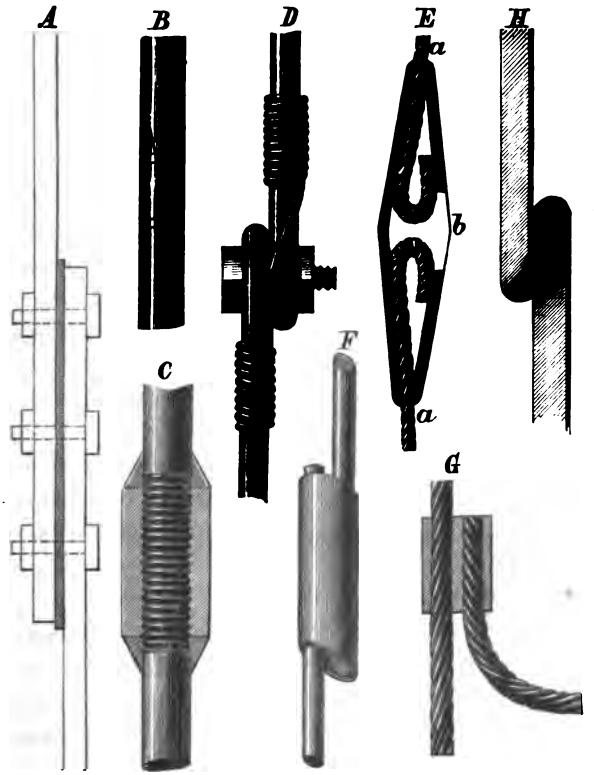
untereinander übergehen. Es ist wohl kaum nothwendig, zu bemerken, dass man trachten muss, die Verbindungsstellen auf eine möglichst geringe Anzahl zu reduciren.

Stangen- oder stabförmige Leitungsstücke können in der Weise miteinander verbunden werden, dass man die Enden der zu verbindenden Theile in einer Länge von etwa 10 Centimeter bandförmig ausschmiedet und die vollkommen blanken oder galvanisirten Flächen miteinander vernietet; ausserdem ist die ganze Verbindungsstelle gut zu verlöthen. Es mag an dieser Stelle bemerkt werden, dass das Verlöthen in allen diesen Fällen nur den Zweck hat, ein mindestens unvermindertes Leitungsvermögen der Leitung an der Verbindungsstelle vollkommen zu sichern, nicht aber die Festigkeit zu erhöhen; es braucht daher kein sehr schwer flüssiges Loth zur Verwendung zu kommen. Ist die anderweitige Verbindung sorgfältig hergestellt, so ist auch ein Schmelzen des Lothes durch einen etwaigen Blitzschlag nicht zu befürchten. Eiserne Theile werden übrigens am sichersten durch Schweissen miteinander verbunden; man wird daher immer diese Verbindungsart wählen, wenn sie überhaupt ausführbar ist.

Die in Fig. 42 *A* dargestellte Verbindungsart, bei welcher die beiden Enden der zu verbindenden Leitungsstücke mit ihren blanken Metallflächen oder wohl auch unter Zwischenlage einer blanken Zinkplatte aufeinandergelegt und durch drei mit Gegenmuttern versehene Schraubenbolzen verbunden werden, ist dann zulässig, wenn man die Bolzen nicht einfach durch entsprechende Bohrungen der Stangen durchsteckt und nur durch die Gegenmuttern festlegt, sondern auch in diese Bohrungen

Gewinde einschneidet, so dass jeder Bolzen in seiner ganzen Länge verschraubt wird. Auch hier hat der Verschraubung ein Verlöthen zu folgen. Genau dasselbe

Fig. 42.



gilt auch von der in Fig. 42 *B* dargestellten Verbindungsweise, die wohl keiner weiteren Erklärung bedarf.

Leitungsdrähte oder Stangen von kreisförmigem Querschnitte. kann man auch in der durch Fig. 42 *C*

dargestellten Weise miteinander verbinden. Die Enden beider Theile erhalten Schraubengewinde und werden mit ihren vollkommen blanken Stossflächen durch Ueberschrauben eines hinlänglich starken Muffes fest aneinandergepresst. Besteht die Leitung aus blankem Eisen oder Kupfer, so sind die in der Verbindung zusammenstossenden Theile vor der Verlöthung zu verzinnen. Am besten erfolgt wohl die Verlöthung während der Verschraubung. Für nicht zu starke Drähte kann die Verbindung auch in der Weise erfolgen, dass man die beiden Enden ringförmig zusammenbiegt (Fig. 42 *D*), durch beide Ringe eine Schraube steckt und erstere durch Anziehen einer Schraubenmutter fest aufeinanderpresst. Hierauf stellt man durch Ueberwinden beider Enden mit dünnerem Drahte noch eine Verbindung her, wie dies die Figur zeigt, und sichert sämmtliche Verbindungsstellen durch Verlöthung.

Kernaul in München[1]) bewirkt die Verbindung der Drahtseile bei Blitzableitern durch eine nach beiden Enden *a a*, Fig. 42 *E*, hin konisch auslaufende Hülse aus Kupfer, welche auf der Langseite mit einer länglichen Oeffnung *b* versehen ist. Die Drähte werden an den Enden *a* eingeführt, durch die Oeffnung *b* geschoben, hierauf umgebogen und wieder zurückgezogen, wobei sich dann die so verdickten Enden fest gegen die konischen Wandungen der Hülse pressen. Zur besseren metallischen Verbindung zwischen Drähten und Hülse wird diese letztere dann noch durch die Oeffnung *b* mit Metall ausgegossen.

Kupferdrahtseile kann man auch in der Weise verbinden, dass man über die Enden derselben starke,

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift. Berlin, IV, p. 278.

knapp anpassende Kupferhülsen schiebt und mit den Drahtseilen verlöthet. Da das Loth bedeutend schlechter die Elektricität leitet als das Kupfer, wendet man ersteres zwischen den zu verbindenden Theilen in möglichst dünner Schichte an, was durch ein gutes Anpassen der Kupferhülsen auf die Draht- oder Seilenden erreicht wird. Eben zur Verminderung des Uebergangswiderstandes trägt auch eine entsprechende Dicke der Kupferhülse bei. In dieser Weise ausgeführte Verbindungen sind in Fig. 42 *F* und *G* für die Vereinigung zweier Stücke einer Leitung und für den Anschluss einer Leitung an eine zweite dargestellt.

Für bandförmige Leiter wird hin und wieder die in Fig. 42 *H* dargestellte Verbindungsweise gewählt, d. h. man begnügt sich damit, die beiden Enden ineinander zu falzen. Dass die hiermit erzielte Verbindung eine sehr mangelhafte ist, bedarf erst keiner Erwähnung; sie ist selbst dann nicht sehr zu empfehlen, wenn das Falzen unter gleichzeitigem Verlöthen vorgenommen wird. Eine sichere und ausreichende Verbindung bandförmiger Leiter erreicht man durch Vernieten und Verlöthen beider Enden, etwa in der Weise, wie dies für Stäbe in Fig. 42 *A* dargestellt ist, oder auf ähnliche Art.

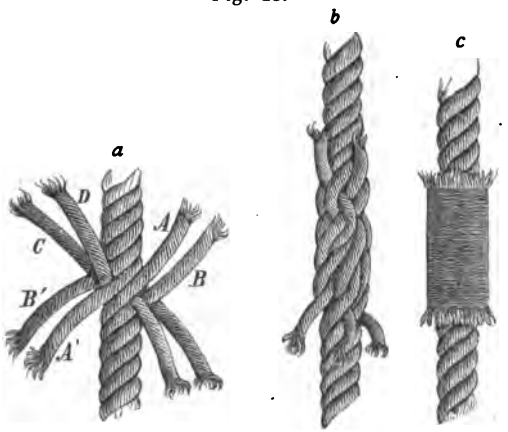
Für die Verbindung zweier Drahtseilenden miteinander schlägt Callaud[1]) ein „Verspliessen" vor, wie dies bei Schiffstauen üblich ist und beschreibt das hierbei in Anwendung zu bringende Verfahren in nachstehender Weise.

Um eine Verspliessung (oder Verspleissung) zu machen, dreht man die zu vereinigenden Kabelenden

[1]) A. Callaud, Traité des paratonnerres, p. 97.

auf eine Länge von beiläufig 10 Centimeter auf. (In Fig. 43 ist ein vierdrähtiges Drahtseil angenommen.) Man nähert die beiden Seilenden mit ihren von einander getrennten Litzen in der Art, dass sich die einzelnen Litzen des einen Endes in die aufeinanderfolgenden Zwischenräume zwischen den Litzen des zweiten Endes der Reihe nach einschieben. Die Drahtseile werden so weit ineinandergeschoben, bis sich die unaufgedrehten Theile berühren (Fig. 43 *a*). Man dreht hierauf das

Fig. 43.



eine Ende oberhalb der Berührungsstelle mit dem zweiten Ende leicht auf, so dass zwischen den einzelnen Litzen kleine Zwischenräume entstehen, in welche man das „Spliesseisen", ein stabförmiges, vorne zugespitztes Werkzeug aus Holz oder Eisen, einführen kann. Mit diesem biegt man die Litze ringförmig auf und steckt dann durch diesen Ring z. B. die Litze *A* unter den noch gedrehten Theil der Litze *B'* und über den noch gedrehten Theil der Litze *A'*. Man zieht dann die

Litze B' fest an, um die Verbindung zu befestigen und dreht das Ganze um einen Viertelkreis. Hierauf steckt man die Litze *B* unter den noch gewundenen Theil der Litze *A'* und über die schon benützte Windung von *A* und verfährt in ähnlicher Weise auch mit den Litzen *C* und *D*. Man wechselt dann die Seiten und wiederholt dasselbe Verfahren zur Verbindung des zweiten Drahtseilendes mit dem ersten: Die Windung *A'* wird z. B. über den noch zusammengedrehten Theil der Litze *A* und unter den entsprechenden Theil von *B* geführt, *B'* über *A'* und unter *A* u. s. w. Die vollendete Verspliessung erhält schliesslich das durch Fig. 43 *b* dargestellte Aussehen. Ist sie gut ausgeführt, so bewirkt ein Anspannen des Seiles keine Lockerung sondern im Gegentheile eine Befestigung der Verbindungsstelle.

An Stelle dieser Verspliessung kann allerdings auch noch eine andere Verbindungsart treten. Nachdem man die Litzen des einen Seilendes in die des anderen in der durch die Fig. 43 *a* angedeuteten Weise geschoben hat, dreht man die einzelnen Litzen auf und legt die einzelnen Drähte des einen Endes um den unaufgedrehten Theil des anderen Endes so herum, dass sie dieses Ende als cylindrisches Drahtbüschel umhüllen. Hierauf umwindet man die beiden Drahtbüschel vollständig mit Bindedraht, wie dies Fig. 43 *c* zeigt. Sowohl dieser Verbindungsart als auch der Verspliessung hat ein Verlöthen zu folgen.

Die, wie wir gesehen haben, vielfach zur Anwendung gelangende Verlöthung lässt es als zweckentsprechend erscheinen, hier die Beschreibung von **Löthfeuern**, wie sie bei der Installirung von Blitzableitern Verwendung finden können, einzuschalten. Eine Löth-

lampe, brauchbar für Verbindung schwächerer Leitungsstücke beschreibt Klasen.[1]) Unter dem Spiritusgefässe *a*, Fig. 44, brennt eine Lampe, welche in dem oberen Gefässe Dämpfe erzeugt, die durch das Rohr *b* heftig abströmen und bei *d* in die Flamme der Spirituslampe *c* blasen, wo dieselben mit verbrennen und eine starke Stichflamme entwickeln, mittelst welcher die Löthungen schnell und sicher ausgeführt werden können. Der Mantel *d*, in dem die beiden Spiritusgefässe festgeklemmt sind, besteht aus starkem Blech mit einer rechteckigen vorderen Oeffnung für die Stichflamme, und sind an dessen hinterer Seite zwei bewegliche Henkel angebracht, welche zur bequemen Handhabung des Apparates dienen. Die Füllung des oberen Gefässes geschieht durch eine kleine Verschraubung, welche vollständig dicht abzuschliessen ist. Nach unserem Ermessen würde es zweckmässig sein, das Gefäss *a* noch mit einem Sicherheitsventile zu versehen.

Fig. 44.

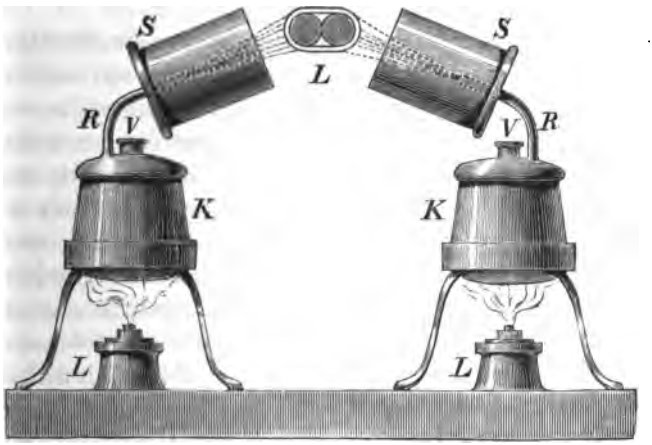
Für stärkere Leitungen ist die Flamme dieser Löth-Lampe zu klein; hier wird die von Zacharias[2]) beschriebene Doppellampe bessere Dienste bieten. Dieselbe ist folgendermassen construirt. Auf einem gemeinschaftlichen metallenen Rahmen, Fig. 45, sind zwei Spirituskessel *K*, ähnlich den Aeolipilen mit Ventilen *V* und Blaserohren *R* versehen, befestigt, in welchen der Spiritus durch die beiden Lampen *L* verdampft wird.

[1]) L. Klasen, l. c. p. 45.

[2]) J. Zacharias, Die Erhaltung und Reparatur der elektrischen Leitungen, p. 44.

Die beiden schornsteinartigen Rohre halten das Feuer dieses Gebläses zusammen und concentriren es auf die Löthstelle. Sollten so starke Leitungen zu verlöthen sein, dass auch diese Doppellampe nicht ausreicht, um das Metall hinlänglich stark zu erhitzen, so muss ein Kohlenfeuer in einem transportablen Ofen zur Anwendung gelangen.

Fig. 45.



V. Die Anlage von Blitzschutzvorrichtungen.

Lässt bereits der Inhalt der vorstehenden Abschnitte erkennen, dass die Anlage einer Blitzschutzvorrichtung in verschiedener Weise zweckentsprechend ausgeführt werden kann, so wird dies noch deutlicher erkennbar, wenn man specielle Fälle ins Auge fasst, wenn man sich die Aufgabe stellt, ganz bestimmte Objecte mit

Blitzschutzvorrichtungen auszurüsten. Es ist einleuchtend, dass sowohl die Gestalt und Grösse als auch die Lage und Umgebung des zu schützenden Objectes berücksichtigt werden müssen. Die Blitzgefahr kann für ein gewöhnliches Wohngebäude inmitten einer Stadt nicht dieselbe sein, wie für den hoch in die Luft ragenden Thurm einer hochgelegenen Kirche, nicht dieselbe wie für ein auf dem Meere schwimmendes Schiff oder für ein Telegraphenamt, in welches zahlreiche weitverzweigte Leitungen einmünden u. s. w. Es ist daher auch nicht möglich, bestimmte und allgemein giltige Regeln für die Anlage von Blitzschutzvorrichtungen anzugeben. Solche können vielmehr nur für bestimmte Gruppen von Objecten in grossen Zügen entworfen werden, während die Detaillirung derselben erst für ein concretes Object gegeben werden kann. Es wird jedoch zweckmässig sein, der Besprechung concreter Objecte die Betrachtung jener Umstände vorauszuschicken, welche bei Objecten gleicher Art auf die Ausführung der Anlage bestimmend einwirken können. Solche Umstände sind: die Grösse, Form und die Baumaterialien des betreffenden Objectes, die Lage und Umgebung desselben.

Von der **Grösse des Gebäudes** wird es zunächst abhängen, ob wir mit der Aufstellung eines Blitzableiters ausreichen oder ob deren mehrere angebracht werden müssen. Doch schon hier sind keine präcisen Angaben mehr möglich, da wir über die Grösse des Schutzraumes nur Vermuthungen mit einer begrenzten Wahrscheinlichkeit aufstellen können. Was sich bezüglich der wahrscheinlichen Grösse des Schutzraumes an der Hand der Erfahrungen ergab, hatten wir bereits

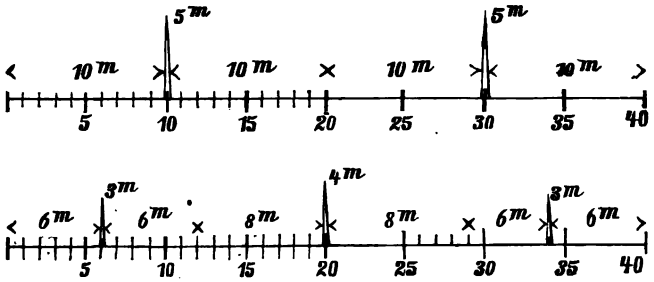
(S. 94 u. f.) Gelegenheit zu besprechen. Andererseits kann aber die Zahl der Fangstangen nicht durch die Grösse des Schutzraumes, selbst wenn diese genau bekannt wäre, bestimmt werden; hierbei muss offenbar auch die Länge der Stange in Betracht gezogen werden. Mit Rücksicht auf die Sicherheit und Dauerhaftigkeit der Aufstellung und auf die Kosten wird es sich empfehlen, in der Regel nur Stangen von 2 bis 4 Meter Länge zu wählen, 5 Meter lange Stangen nur in Ausnahmsfällen zu verwenden und darüber hinaus in keinem Falle zu gehen.

Unter diesen Voraussetzungen ist es nun möglich, genauere Angaben über die Zahl und Anordnung der Fangstangen und Leitungen zu machen. Wenn wir vorläufig nur die Grösse des Objectes berücksichtigen, kann ein gewöhnliches Gebäude, z. B. ein einfaches Wohnhaus, gegen Blitzschlag als gesichert betrachtet werden, wenn es bei circa 20 Meter Länge einen Blitzableiter erhält, dessen Fangstange ungefähr 4 Meter hoch ist und in der Mitte der First aufgestellt wird. Mit einer Fangstange kann kein Auslangen mehr gefunden werden, wenn die Länge des Gebäudes 20 Meter überschreitet. Für grössere Gebäude kann man der Berechnung für die Stangenzahl im Allgemeinen folgende Regel zu Grunde legen: Jede Fangstange muss zweimal hintereinander angelegt gedacht, entweder das Ende des Gebäudes oder einen Punkt desselben erreichen, auf welchen auch eine zweite zweimal umgelegte Fangstange gelangt. Man kann z. B. ein Gebäude von beiläufig 30 Meter Länge durch zwei Fangstangen von je 4 Meter Höhe schützen, wenn man die beiden Fangstangen je 3 Meter vom Giebel entfernt

aufstellt. Ein Gebäude von beiläufig 40 Meter Länge könnte durch zwei je 5 Meter hohe Fangstangen geschützt werden, die auf der First je 10 Meter vom Giebel entfernt aufgestellt werden. Man kann aber auch drei Stangen aufstellen, und zwar eine 4 Meter hohe in der Mitte und zwei je 3 Meter hohe in einer Entfernung von je 6 Meter vom nächstgelegenen Giebel. In beiden Fällen ist, wie dies die Figur 46 erkennen lässt, das Gebäude nach der obigen Regel gesichert.

Was die Zahl der Ableitungen betrifft, so wird diese ebenfalls, wenn wir vorläufig von anderen Um-

Fig. 46.



ständen absehen, von der Grösse des Gebäudes bestimmt. Es genügt im Allgemeinen eine Ableitung, wenn das Gebäude eine Länge von beiläufig 25 Meter nicht überschreitet; ist dies aber der Fall, dann sind zwei oder mehr Ableitungen anzubringen. Hierbei hat man die Fangstangen und die Ableitungen so miteinander zu verbinden, dass sie ein im leitenden Zusammenhange stehendes System bilden. Je nach der Höhe der Stangen genügt dann eine Ableitung für zwei bis drei Fangstangen. Bei einem grossen Gebäude oder Gebäudecomplex kann es übrigens auch zweckmässig erscheinen,

zwei oder mehrere von einander getrennte Blitzschutzsysteme anzuordnen.

Weitere Angaben über Zahl, Höhe und Vertheilung der Fangstangen, sowie über die Zahl und Anordnung der Leitungen und ihrer Verbindungen können nur dann Brauchbares enthalten, wenn ausser der Grösse des Gebäudes auch den anderen oben erwähnten Verhältnissen Rechnung getragen wird. Es bedürfen sogar schon die bisher gemachten Angaben einer Correctur, sobald die Form des Gebäudes in Betracht gezogen wird. Zunächst immer noch einfache Gebäude, d. h. solche ohne jeden architektonischen Schmuck, vorausgesetzt, muss schon bei diesen die **Form der Bedachung** berücksichtigt werden. Kann z. B. eine 4 Meter hohe Fangstange auf der Mitte der First einer mehr oder weniger spitzen Bedachung aufgesetzt als genügender Schutz für ein Gebäude angesehen werden, welches eine Länge von 15 bis 20 Meter besitzt, so reicht eine solche Fangstange für ein gleich grosses Gebäude, aber mit flacher Bedachung, nicht mehr aus. Hier muss die Höhe, beziehungsweise Zahl der Stangen so bemessen sein, dass mit der einmaligen Umlegung der Stange die Begrenzung (und namentlich die Ecken) des Daches, beziehungsweise der Schutzraum einer zweiten Stange erreicht wird.

Bei mehr oder weniger spitzer Bedachung der einen oder anderen Form ist die First als hochgelegene Kante der Influenzwirkung und somit auch der Blitzgefahr am meisten ausgesetzt. Auf dieser Kante selbst wird sich aber die Influenzwirkung auf die Giebel, welche mehr oder weniger spitze Ecken bilden, erheblich stärker geltend machen, wie an den anderen Theilen der First. Mit Berücksichtigung dieses Umstandes können also die in

Fig. 46 dargestellten Anordnungen nicht mehr als zweckmässige angesehen werden. Man wird vielmehr eine weit verlässlichere Sicherung des Gebäudes erzielen, wenn man selbst bei Beibehaltung der angegebenen Stangendimensionen die Fangstangen weiter gegen die Giebeln zu rückt, eventuell sogar auf die Giebelmauern stellt.

Hat man bei geraden Dächern nur die Giebel als besonders gefährdete Punkte zu beachten, so erfordern mannigfach gegliederte Bedachungen eine eingehende Würdigung aller Winkel, Kanten und Spitzen des Daches. Gebäude deren Grundriss, also auch deren Bedachung beiläufig die Form eines Hufeisens besitzt (einen Hof von drei Seiten umschliesst), werden auch bei verhältnissmässig kleinen Dimensionen kaum mit weniger als drei Fangstangen zu schützen sein; schliesst das Gebäude etwa einen Hof von vier Seiten ein, so dürfte man mit weniger als vier Fangstangen kaum in der Lage sein, einen sicheren Schutz zu schaffen.

Die Form der Bedachung wird aber nicht nur durch den Grundriss des Gebäudes, sondern auch durch die Höhe der einzelnen Theile desselben beeinflusst; ein Gebäude, welches sich z. B. aus einem hohen Mitteltracte und zwei einander gleichen seitlichen Flügeln von geringerer Höhe zusammensetzt, wird man in zweckmässiger Weise kaum mit zwei, vier, sechs . . . Fangstangen schützen können, sondern nur mit einer, drei, fünf . . . Stangen, von welchen man die grösste auf dem Dachstuhle des Mitteltractes aufstellt. Hierbei ist natürlich vorausgesetzt, dass der Mitteltract jene Grösse nicht überschreitet, für welche der Schutz durch eine Stange bewirkt werden kann.

Die zu berücksichtigenden Umstände werden noch mannigfacher, wenn das Gebäude eine reiche architektonische Gliederung zeigt, eine grosse Anzahl von vorspringenden Erkern, Thürmchen und Dachverzierungen, wie z. B. Windfahnen, Wetterrosen, Flaggenstangen u. dgl. besitzt, wenn Schornsteine die Bedachung erheblich überragen u. s. w. Dies alles erfordert eine um so sorgfältigere Berücksichtigung, als die genannten Theile häufig ganz aus Metall bestehen oder doch viele metallische Bestandtheile an sich tragen. Doch hierauf müssen wir ohnehin noch zurückkommen, wenn wir uns mit der Frage beschäftigen, was in ein Blitzschutzsystem einzuschalten ist.

Hingegen führt uns dies zu der Frage, in welcher Weise die bei der Aufführung eines Baues zur Verwendung gelangten **Baumaterialien**, beziehungsweise die Bestandtheile der inneren Einrichtung eines Gebäudes auf die Herstellung einer Blitzschutzvorrichtung Einfluss nehmen können. Ein Gebäude, welches eine metallische Bedachung, einen eisernen Dachstuhl, eiserne Tragsäulen, Traversen, verzweigte Röhrenleitungen aus Metall, Maschinen, ausgedehnte Transmissionen u. dgl. besitzt, wird in weit höherem Grade der Blitzgefahr ausgesetzt sein als ein solches, welches aus nicht leitenden Materialien erbaut wurde und auch bezüglich seiner inneren Einrichtungen arm an Metallen ist. Bei einem solchen erstreckt sich die Influenzwirkung einer Gewitterwolke fast ausschliesslich auf den Blitzableiter; erst eine ausgiebige Benetzung durch den Regen wird eine, wenngleich sehr schwache, Influenzwirkung auf das Haus veranlassen können. Somit ist ein derartiges Gebäude unter sonst gleichen Umständen überhaupt weniger der Blitz-

gefahr ausgesetzt und es genügt die bei Anlage von Blitzschutzvorrichtungen im Allgemeinen erforderliche Vorsicht.

Ist hingegen das Gebäude reich an Metallmassen, sei es, dass diese der Construction derselben angehören, sei es, dass sie die innere Einrichtung bilden, so ist diesem Umstande ganz besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. In einem solchen Falle ist gerade das zu schützende Object der Influenzwirkung einer Gewitterwolke am meisten ausgesetzt und erfordert daher naturgemäss eine besonders sorgfältig durchdachte und ausgeführte Schutzvorrichtung. Da man derartige grössere und verschieden vertheilte Metallmassen nicht derart zu isoliren im Stande ist, dass sie selbst der hochgespannten Gewitterelektricität gegenüber gefahrlos für das zu schützende Object bleiben, so ist man in den meisten Fällen genöthigt, diese Metallmassen selbst in die Blitzleitung einzubeziehen, um sie unschädlich zu machen. Allgemeine Regeln lassen sich für solche Fälle, ihrer Manigfaltigkeit wegen, nicht aufstellen; jeder specielle Fall erfordert ein specielles Studium und specielle Anordnungen der Blitzschutzvorrichtung. Die Anlage derselben ist daher nur einem erprobten Fachmanne zu übertragen, nicht aber, wie dies so häufig geschieht, einem Schlosser oder Kupferschmied, und möge dieser sein Handwerk auch noch so gründlich verstehen. Um hier das Richtige zu treffen, ist eben eine gründliche Vertrautheit mit den Gesetzen der Spannungselektricität erforderlich, um so mehr, als hier die Erfahrungen, welche man über den Schutzraum einer Fangstange unter normalen Verhältnissen gemacht hat, für die in Rede stehenden Fälle keine Anwendung finden können.

Zu den in den häufigsten Fällen **mit der Blitzleitung zu verbindenden Metallbestandtheilen** eines Gebäudes gehören bei Metallbedachung selbstverständlich das ganze Dach und bei Eisenconstruction des Dachstuhles auch dieser, ferner aber auch stellenweise Metallbedeckungen des Daches, Grat- und Kehlbleche Kaminhüte, blecherne Dachlucken, Regenrinnen, jede Art metallischer Verzierungen, wie Windfahnen, etwaige fortlaufende Firstverzierungen aus Metall u. s. w.; dann eiserne Traversen und Tragsäulen, Spanneisen bei Gewölben, jede Art metallischer Röhrenleitungen, namentlich dann, wenn sie hoch in das Gebäude hinaufragen, ebenso eiserne Treppen oder Rampen, eiserne Fenstergitter auf der Wetterseite, metallene Brunnen oder Pumpen, selbst wenn diese im Innern des Gebäudes liegen u. s. f. Kleinere Metallmassen sind dann sowohl untereinander als auch mit der Blitzleitung zu verbinden, wenn sie eine fortlaufende, wenngleich vielfach unterbrochene Kette bilden. Andererseits darf man jedoch hierin nicht zu weit gehen, weil man sonst die Blitzgefahr an Stellen innerhalb des Gebäudes hineinführen würde, wo sie ohne Herstellung einer Verbindung gar nicht vorhanden gewesen wäre. Holtz warnt daher mit Recht davor, innerhalb der Gebäude gelegene Metallmassen ohne Auswahl mit der Blitzableitung zu verbinden. Diese Verbindung muss aber in jedem Falle hergestellt werden mit metallenen Pumpen, weil diese mit dem Grundwasser in Verbindung stehen, Regenrinnen und ebenso Gas- oder Wasserleitungsröhren, falls sie Theile eines grösseren weitverzweigten Röhrennetzes sind.

Man hat ferner zu unterscheiden, ob die betreffende Metallmasse einfach mit der Blitzleitung zu verbinden

ist, so dass also diese Metallmasse den Endpunkt der Hilfs- oder Nebenleitung bildet, oder ob sie vollständig in die Blitzleitung eingeschaltet werden soll, so dass sie also zu der Hauptleitung einen Nebenschluss bildet. Welche dieser Verbindungsweisen zu wählen ist, kann immer erst im speciellen Falle nach eingehendem Studium der localen Verhältnisse entschieden werden. Bei einfacher Verbindung der Metallmasse führt man die Nebenleitung von der ersteren immer zu einem tiefer gelegenen Punkte der Hauptleitung; nur unmittelbar an der Hauptleitung gelegene Metallmassen können durch ein horizontales Verbindungsstück angeschlossen werden, in jedem Falle vermeide man aber den Anschluss der Nebenleitung an einem höher gelegenen Punkte der Hauptleitung. Einfache Verlöthung der Zweigleitung mit der Hauptleitung einerseits und mit der Metallmasse andererseits kann hier als ausreichende Befestigung gelten. Die Stärke der Zweigleitung wird durch die Grösse der Metallmasse und durch ihre eigene Länge bestimmt.

Soll die Metallmasse in die Blitzleitung förmlich eingeschaltet werden, so hat man den von der Blitzleitung am weitesten entfernten, beziehungsweise tiefsten Punkt der Masse mit einem tiefer gelegenen Punkte der Hauptleitung zu verbinden, den höchsten, beziehungsweise nächsten Punkt der Masse durch eine zweite Zweigleitung oberhalb des vorhin genannten Punktes der Hauptleitung an diese anzuschliessen. Beide Zweigleitungen sind in diesem Falle im Allgemeinen stärker zu wählen als im erstbetrachteten Falle, und ferner muss auch ihre Befestigung eine vollkommen verlässliche sein; einfaches Verlöthen ohne vorhergegangener

Vernietung, Verschraubung oder dergleichen genügt hier nicht mehr.

Ist das Gebäude ausschliesslich mit Metallblech eingedeckt, so ist das Dach stets mit dem Blitzableiter zu verbinden. Stehen die Blechplatten sämmtlich untereinander in gut metallischer, d. h. leitender Verbindung (durch Verlöthung, nicht blos Ineinanderfalzen ihrer Ränder), so genügt es, unter Hinweglassung der Dachleitung einerseits die Fangstangen mit dem Dache leitend zu verbinden und andererseits die Ableitungen an die Bedachung ebenfalls gut leitend anzuschliessen. Vorsichtiger bleibt es aber immerhin, neben der Einschaltung des Daches noch eine directe Verbindung zwischen den Auffangstangen und den Ableitungen durch die gewöhnliche Dachleitung herzustellen. Theilweise Metallbedachungen sind mit dem Blitzableiter zu verbinden, wenn sie demselben nahe liegen oder eine Ausdehnung von mehreren Quadratmetern erreichen.

Firstverzierungen sind bei irgend nennenswerther Grösse und namentlich wenn sie Kanten und Spitzen besitzen, immer an den Blitzableiter anzuschliessen. In vielen Fällen werden sie selbst Theile des Blitzableiters bilden, wie z. B. eine Windfahne oder Flaggenstange bei entsprechender Construction die Fangstange ersetzen kann (siehe Figuren 19 u. 20), oder die Firstverzierung gleichzeitig einen Theil der Dachleitung bildet.

Da Regenrinnen der Erde gewöhnlich sehr nahe kommen oder sogar häufig in dieselbe eindringen, üben sie auf den Blitz eine besondere Anziehungskraft. Es ist deshalb zweckmässig, die Ableitung, wenn möglich, der Regenrinne nahe zu bringen, letztere aber in jedem Falle mit der Blitzleitung zu verbinden; die horizon-

Erde in Berührung stehende Fläche machen derartige Anlagen zu Blitzableitern, welche die besten, absichtlich construirten Blitzableiter an Wirkungsfähigkeit weit übertreffen müssen. Diese Ansicht wurde in der That durch zahlreiche Beobachtungen von Blitzschlägen in Rohrleitungen bestätigt. Es zeigte sich hierbei, dass der Blitz stets nach diesen strebt; sind Blitzableiter (wenn auch mit guten Erdleitungen) vorhanden, so springt er von diesen auf die Rohrleitungen über, sind keine Blitzableiter angebracht, so schlägt er durch jene Theile des Gebäudes hindurch, welche die Rohrleitungen überragen. In jedem Falle sind die auf dem Wege des Blitzstrahles liegenden Objecte der Beschädigung oder Zerstörung ausgesetzt. Diese Zunahme der Blitzgefahr durch Einführung von Gas- und Wasserleitungen in ein Gebäude oder auch durch blosse Zuführung in die Nähe des Gebäudes geht am deutlichsten hervor aus Fällen, in denen Blitzableiter mit an sich guter Erdleitung, beziehungsweise solche, welche früher notorisch Blitzschläge ohne Schaden geleitet haben, sich nach der Herstellung der Röhrenleitungen als unwirksam, beziehungsweise als nicht mehr zulänglich erwiesen. (Solche Beispiele sind l. c. angeführt.) Es kann somit im Interesse der Sicherung von Gebäuden gegen Blitzschläge keinem Zweifel unterliegen, dass der Anschluss der Blitzableiter an gedachte Rohrleitungen zu empfehlen ist. Diese Ansicht vertraten auch Melsens, die permanente Blitzableitercommission der belgischen Akademie, Harris, die Commission zur Prüfung der Blitzableiter der Municipalgebäude in Paris, die Commission der preussischen Akademie, Holtz, Neesen u. s. w.

Die Frage erfordert aber auch noch die Erwägung einer zweiten Seite, nämlich ob der Anschluss der Blitzableiter an die Rohrleitungen nicht etwa für letztere gefährlich werden kann. Ein Rohrnetz wird offenbar dann nicht selbst beschädigt werden, wenn es in Folge hinreichender Ausdehnung, Oberfläche und Wandstärke im Stande ist, die grosse Elektricitätsmenge eines Blitzschlages rasch und unschädlich im Boden zu vertheilen; das Rohrnetz muss daher in seiner ganzen Ausdehnung oder doch auf grosse Strecken hin metallische Continuität besitzen. Bei kleinen, für sich bestehenden Gas- oder Wasserleitungen einzelner Gebäude oder Gebäudecomplexe ist es denkbar, dass die Ausdehnung und Oberfläche des in der Erde liegenden Rohrnetzes zu klein ist, um eine genügende Ableitung zu geben, dass vielmehr das Rohrnetz selbst des Schutzes durch Verbindung mit einer grossen, im Grundwasser liegenden Erdplatte oder mit einem grösseren Röhrennetze bedarf.

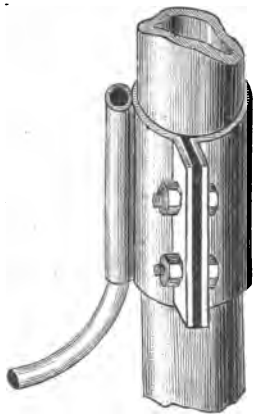
Der Querschnitt der Röhrenwandung bei eisernen Strassenleitungen wird wohl stets gross genug sein, um Blitzschläge gefahrlos zu leiten. Es folgt dies übrigens auch aus den Versuchen von Melsens, sowie aus der häufig gemachten Beobachtung, dass bei Blitzschlägen in Telegraphenleitungen die nur 4 bis 6 Millimeter dicken Eisendrähte wohl hin und wieder glühend werden aber beinahe nie schmelzen; die Beschädigungen erstreckten sich fast immer nur auf die Isolatoren oder deren Träger.

Der metallische Zusammenhang einer Rohrleitung ist ein zweifellos entsprechender, wenn die Röhren durch Muffen verbunden und durch eingegossene und hierauf verstemmte Bleiringe gedichtet sind. Selbst eine

Flantschenverbindung mit Dichtung durch dazwischengelegte, die Elektricität nicht leitende Ringe wird in der Regel die metallische Continuität der Rohrleitung nicht stören, da die Schraubenbolzen eine hinreichende Dicke besitzen und mit den Schraubenmuttern, sowie mit den Flantschen in ausreichender metallischer Berührung stehen.

Bezüglich der Verbindungsweise der Blitzableiter mit einer Rohrleitung wird die von Melsens ausgeführte gutgeheissen. Melsens befestigt eine nach der Form des eisernen Rohres gebogene Kupferplatte auf ersterem durch Messingschrauben, für welche das Muttergewinde in die Wandung des Rohres geschnitten ist; die Leitungsdrähte werden in die durchbohrten Köpfe ähnlicher, in der Kupferplatte befestigter Schrauben eingesetzt und mit Zinn gelöthet. Diese allerdings empfehlenswerthe Verbindung dürfte aber der Schwierigkeit der Ausführung wegen kaum allgemeinen Eingang finden. Hingegen kann wohl angenommen werden, dass die Verbindung mit Hilfe einer starken Schelle genügt, falls für Herstellung und Erhaltung guter metallischer Berührung auf grosser Fläche Sorge getragen wird. Holtz führt die Leitung in einigen langen Windungen um das Rohr herum und verlöthet erstere mit letzterem an mehreren Stellen. Man kann auch das metallisch blanke Rohr mit einer zweitheiligen Schelle aus Kupfer oder verzinntem Eisen umschliessen (Fig. 47), mit welcher die Leitung verlöthet ist.

Fig. 47.



Auf Grund der im Vorstehenden auszugsweise wiedergegebenen Erörterungen gelangte die technische Deputation zur Formulirung nachstehender Grundsätze:

1. Die Verbindung eines Blitzableiters mit dem Strassenrohrnetz einer städtischen Gas- oder Wasserleitung von passender Beschaffenheit macht die Anbringung einer Erdplatte überflüssig.

2. Diese Verbindung ist nicht nur zulässig, sondern als empfehlenswerth zu bezeichnen.

3. Als Röhrenleitungen von passender Beschaffenheit sind diejenigen zu erachten, welche aus eisernen Röhren mit Muffenverbindung und Bleidichtung bestehen. Flantschenverbindungen sind nur dann als genügend anzusehen, wenn sie starke Schraubenbolzen besitzen.

4. Wenn Wasser- und Gasleitung zugleich in der Nähe des Blitzableiters sind, empfiehlt es sich, diesen mit beiden Rohrleitungen zu verbinden.

5. Falls der Blitzableiter in der Nähe einer Flantschenverbindung oder eines mittelst zweier Flantschenverbindungen in die Rohrleitung eingefügten Stückes liegt, ist er mit den beiden zu beiden Seiten der Flantschenverbindung oder des eingesetzten Stückes liegenden Theilen des Rohrnetzes zu verbinden.

6. Die Verbindung des Blitzableiters ist womöglich durch Verlöthung mit Weichloth auf möglichst grosser Fläche vorzunehmen. Bei kupfernen Leitungen kann der Draht oder das Drahtseil für diesen Zweck einigemale um das metallisch blank gemachte und verzinnte Rohr herumgewickelt werden; bei eisernen Leitungen kann der Eisenstab an eine Rohrschelle angeschweisst oder an dieselbe angeschraubt und verlöthet werden.

Die um das Rohr gewundene Leitung oder die um dasselbe gelegte Schelle sind schliesslich möglichst vollkommen mit dem Rohre zu verlöthen.

7. Ist eine gründliche Verlöthung nicht gut ausführbar, so kann die Verbindung folgendermassen ausgeführt werden:

Das Blitzableiterende wird eingeschoben oder eingeschraubt in einen durchbohrten Ansatz in einem Theile einer verzinnten oder verzinkten, zwei- oder mehrtheiligen Rohrschelle von Schmiedeeisen, Bronze oder Kupfer und wird mit Zinn verlöthet. Das Rohr wird an der Ansatzstelle in der Breite der Rohrschelle durch Befeilen, Abschmirgeln oder Abbeizen möglichst vollkommen metallisch blank gemacht, dann wird ein beiderseits blank geschabtes Bleiblech, von gleicher Breite mit der Schelle, um die blanke Rohrstelle gelegt, die Schelle auf das mit dem Bleiblech umwickelte Rohr aufgesetzt und mittelst ihrer Bolzenschrauben so fest angezogen, dass das Bleiblech sich sowohl an das Rohr als an die Schelle dicht anlegt. Hierauf werden die schon vorher verzinnten Köpfe und Muttern der Schrauben mit den Lappen der Schelle, an welchen sie anliegen, die Muttern mit den Schraubenspindeln mit Zinn verlöthet.

Endlich wird der Blitzableiter von seiner Eintrittsstelle in die Erde an bis zur Verbindung mit dem Rohre und insbesondere die Verbindung selbst, also die Schelle sammt Schrauben, mit einer Isolirschicht zum Schutze gegen Oxydation umgeben; diese Isolirschicht kann durch dichtes Umwinden der zu schützenden Theile mit getheertem Hanf oder durch Umgiessen mit Asphalt hergestellt werden.

8. Um den in der Erde liegenden Theil des Blitzableiters und die Verbindungsstelle möglichst vor Verletzungen zu schützen und eine etwaige Revision zu erleichtern, empfiehlt sich die Umhüllung der fraglichen Theile mit einer leichten Ziegelmauerung.

9. Unterbrechungen des Zusammenhanges der Leitung bei Arbeiten an Wasser- oder Gasleitungen sollen während eines Gewitters nicht vorgenommen werden. Sind solche aus Anlass dringender Reparaturen unvermeidlich, so empfiehlt sich eine Verbindung der getrennten Theile durch einen gut leitenden Körper, etwa durch Drahtseil.

Zu diesen Vorschriften haben wir Nachstehendes zu bemerken. In den Punkten 2 und 4 sollte es unserer Meinung nach nicht nur heissen, es empfiehlt sich die Verbindung der Blitzableiter mit den Rohrleitungen, sondern vielmehr diese Verbindungen müssen hergestellt werden. Andererseits können wir den unbedingten Ersatz der Erdplatte durch die Rohrleitung (Punkt 1 und 3) nicht gutheissen. Bilden auch letztere Hauptanziehungspunkte für den Blitz, so giebt es doch, wie gleich gezeigt werden soll, auch noch mancherlei andere Umstände, durch welche der Blitz veranlasst werden kann, seinen Weg gar nicht oder nur als Partialentladung zu den Rohrleitungen zu nehmen. Auch der in den Punkten 7 und 8 empfohlenen Isolirung des in der Erde liegenden Theiles des Blitzableiters, um diesen gegen Oxydation zu schützen, können wir nicht beistimmen, da diese in geringer Tiefe unter der Erde verlaufende Leitung in gewissen Fällen ebenso die Function der Erdleitung übernehmen kann, wie die Erdplatte selbst, wie dies Seite 112 erörtert wurde. Diese

Befähigung wird ihr aber natürlich entzogen, sobald man sie mit isolirenden Substanzen umgiebt.

Es erübrigt uns nun noch die Erörterung der Frage, in welcher Weise die **Lage des Gebäudes** und die **Bodenbeschaffenheit** bei Anlage eines Blitzableiters zu berücksichtigen sind. Bezüglich der Lage des Gebäudes bedarf es wohl kaum der Erwähnung, dass ein auf weiter Ebene allein stehendes Gebäude oder ein auf dem Gipfel eines Berges gelegenes Haus (unter sonst gleichen Umständen) der Blitzgefahr mehr ausgesetzt ist, als ein inmitten einer Stadt gelegenes Bauwerk. Ist also auf Objecten ersterer Art ein Blitzableiter aufzustellen, so muss man hierbei mit grösserer Vorsicht zu Werke gehen.

Die Lage eines Gebäudes ist aber auch noch in einer anderen Richtung zu berücksichtigen, nämlich in Hinblick auf die Richtung, in welcher die meisten Gewitter über das Gebäude hinziehen. Im Allgemeinen kann zwar für den grössten Theil von Mitteleuropa, theilweise auch für Italien und die Länder der übrigen Welttheile, soweit diese auf der nördlichen Halbkugel liegen, angenommen werden, dass die meisten Gewitter von West nach Ost oder von Südwest nach Nordost ziehen; es giebt jedoch Orte und Länder, wo locale Ursachen häufig Gewitter veranlassen oder regelmässig anziehende Gewitter von ihrer gewöhnlichen Richtung ablenken, worauf hier näher einzugehen nicht der Ort ist. In jedem Falle hat man sich aber vor Errichtung eines Blitzabbleiters über die Gewitterverhältnisse des betreffenden Ortes verlässliche Angaben zu verschaffen.

Jene Seiten eines Gebäudes, gegen welche die meisten Gewitter anziehen, sind bei Anlage eines Blitz-

ableiters besonders zu berücksichtigen, weil sie erstens dem Anpralle eines Gewitters am meisten ausgesetzt sind, zweitens weil sie vom Regen am stärksten benetzt und dadurch für Influenzwirkungen besser geeignet werden und drittens weil der Erdboden auf dieser Seite am stärksten von Wasser durchtränkt wird. Diesen schädlichen Einflüssen wirkt man in der Weise entgegen, dass man für die Fangstangen auf der Wetterseite des Gebäudes einen kleineren Schutzraum annimmt, also die Zahl der Stangen vermehrt oder die einzelnen Stangen höher macht; dass man die Dachleitung und ebenso die Ableitung über die dem Regenanpralle am meisten ausgesetzten Dachflächen und Mauern führt, und dass man auf dieser Seite für eine gute Erdleitung Sorge trägt. Es erscheint namentlich hier zweckmässig, von der bereits früher (Seite 112) erwähnten Verzweigung der Erdleitung Gebrauch zu machen, und zwar umsomehr, wenn das Grundwasser nur schwierig zu erreichen ist. Diesen oberflächlich verlaufenden Zweig der Erdleitung kann auch die Anschlussleitung an ein Rohrnetz ersetzen, vorausgesetzt, dass die Anschlussleitung nicht isolirt ist. In diesem Falle wird dann die in geringer Tiefe unter der vom Regen durchnässten Erdoberfläche verlaufende Anschlussleitung oder der Zweig der Erdleitung häufig gute Dienste leisten.

Es wird jedoch nicht selten der Fall eintreten, dass die Führung der Leitung über die dem Regen am meisten ausgesetzten Flächen eine erhebliche Verlängerung der Leitung erfordern würde, oder dass dann die Erdleitung an einem weniger geeigneten Orte herzustellen wäre, beides Umstände, die gleichfalls gefährlich werden können und daher auszuschliessen sind;

in solchen Fällen hilft man sich durch Herstellung zweier, beziehungsweise mehrerer Ableitungen. Für die Hauptleitungen muss hierbei der Grundsatz festgehalten werden, die Fangstangen immer auf dem kürzesten Wege mit den Hauptanziehungspunkten für den Blitz, d. h. mit zusammenhängenden grossen Wassermassen irgend welcher Art zu verbinden. Sind derartige Verbindungen in ausreichender Weise hergestellt, so verschlägt es nichts, wenn die Neben- oder Zweigleitungen unausweichliche Umwege machen, um über die dem Regen am meisten ausgesetzten Flächen zur Erde zu gelangen. Solche Doppelleitungen erscheinen um so dringlicher erforderlich, wenn die betreffenden Gebäude von eisernen Traversen, Wellen, Röhrenleitungen, Deckendrähte oder irgend welchen anderen Metalltheilen quer durchsetzt werden, so dass diese die Wetterseite mit jener Seite des Hauses verbinden, auf welcher die Hauptleitung des Blitzableiters zur Erde geführt ist.

Diese Bemerkungen zeigen noch, dass eine genaue Kenntniss der Bodenbeschaffenheit unbedingt erlangt werden muss, bevor man zur Anlage einer Blitzschutzvorrichtung schreitet. Der Blitz sucht stets unbegrenzte Wassermassen zu erreichen; soll er unschädlich gemacht werden, so ist ihm der Weg dahin möglichst zu erleichtern. Die Leitung muss daher zu jenen Punkten geführt werden, die den Blitz muthmasslich am stärksten anziehen. Solche Punkte sind: Brunnen oder das Grundwasser überhaupt, Teiche, Seen, Flüsse, das Meer, aber auch Wassergräben, die mit ersteren in Verbindung stehen und an einzelnen Orten Erzlager. (Die Gas- und Wasserleitungen wurden bereits oben berücksichtigt.) Die Anziehungswirkung derselben wird eine um so grössere sein, je näher sie

sich dem Gebäude, beziehungsweise seiner Blitzschutzvorrichtung befinden. Die aufgezählten Punkte, welchen Blitzentladungen besonders zustreben, können erst dann ausser Berücksichtigung bleiben, wenn sie schon über 20 bis 25 Meter von dem zu schützenden Gebäude entfernt sind.

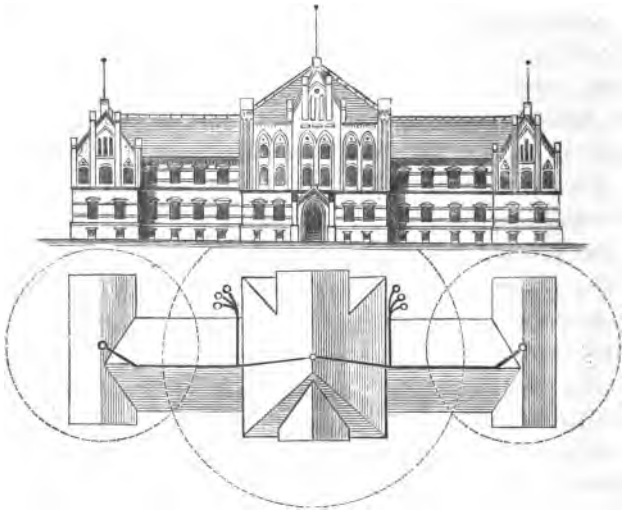
Ob dem einen oder dem anderen Anziehungspunkte die Leitung zugeführt werden soll oder ob beide in die Anlage einzubeziehen sind, kann immer erst für den ganz speciellen Fall angegeben werden. Es kann sich auch als zweckmässig herausstellen, die Leitung in einem solchen Punkte enden zu lassen und einen zweiten mit diesem durch eine unterirdische Leitung zu verbinden; dies alles kann aber nur der locale Augenschein zur Entscheidung bringen.

Aus obenstehenden allgemeinen Bemerkungen über die Anlage von Blitzschutzvorrichtungen ist ersichtlich, dass vor und während der Ausführung derselben eine lange Reihe mannigfacher Umstände in Erwägung zu ziehen ist und dass derartige Arbeiten, wenn sie ihrem Zwecke auch wirklich in allen Fällen entsprechen sollen, durchaus nicht dem nächsten Schlossermeister oder Dachdecker übertragen werden dürfen, sondern nur Männern, die sich speciell damit befassen oder solchen, welchen man gründliche Kenntniss elektrischer Erscheinungen zutrauen kann. Wir betonen diesen Umstand ausdrücklich deshalb, weil dagegen nur zu häufig gesündigt wird. Würde es der Raum gestatten, so könnten wir für die Richtigkeit dieser Bemerkung eine grosse Anzahl wohlbeglaubigter Beispiele anführen, in welchen der Blitz grössere oder geringere Schäden verursacht hat, trotzdem die betreffenden Objecte mit sogenannten Blitz-

ableitern versehen waren; bei näherer Untersuchung solcher Fälle stellte sich immer ein grober Fehler heraus, ein Fehler, der die ganze Anlage nur zu häufig zu einer Blitzgefahr statt zu einer Blitzschutzvorrichtung machte.

Da gewissen Gruppen von Objecten gewisse Umstände, welche bei Anlage einer Blitzschutzvorrichtung in Betracht kommen, gemeinschaftlich sind, wollen wir

Fig. 48.



an diesen die früher ganz allgemein dargelegten Grundsätze in einer Anzahl von Beispielen eingehender klar zu machen versuchen.

1. Blitzableiter auf grösseren Bauten oder Gebäudecomplexen.

Die Anlage eines Blitzableiters auf einem grossen Schulgebäude ist nach Zeichnungen von Wilh. Kirchner

in Kiel in Fig. 48 dargestellt.[1]) Dieses Schulgebäude hat eine Länge von 67 Meter und ist im Mittelbaue 23 Meter tief bei einer Höhe von 25 Meter. Die Anlage wurde mit drei Fangstangen und zwei Erdleitungen ausgerüstet. Die regelmässige Form des Mittelbaues, sowie die Höhe desselben mussten im Vorhinein zur Aufstellung der Hauptfangstange auf diesem Tracte führen. In der That erhielt derselbe auf der Höhe seiner First eine Stange von 7 Meter Länge, deren Schutzkreis sich weit über die beiden seitlichen Flügel erstreckt. Daher konnten auch die Auffangstangen an den Seitenbauten erheblich kürzer genommen werden. Die Figur lässt erkennen, dass hierbei das Gebäude in seiner ganzen Ausdehnung innerhalb der Schutzkreise liegt. Die bedeutende Länge des Gebäudes liess es zweckmässig erscheinen, zwei Ableitungen anzuordnen und diese sowohl untereinander als auch mit den Nebenleitungen zu verbinden; die Nebenleitungen laufen auf der First der Flügeln und schliessen sich den Hauptleitungen auf dem Dache des Mittelbaues an.

Mit Ausnahme der über das empfehlenswerthe Mass hinausgehenden Länge der mittleren Fangstange ist diese Blitzableiteranlage als eine ganz entsprechende zu bezeichnen.

Im Gegentheile hierzu verwendet Melsens bei seinem bereits wiederholt erwähnten Blitzschutzsysteme nur Spitzenbüschel von 0·5 bis höchstens 2 Meter Höhe (Seite 85). Melsens' System, welches in Belgien häufig zur Anwendung gelangt, wurde z. B. auch auf einem

---

[1]) G. Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektricität des Gewitters und die Wirkung der Blitzableiter, p. 45.

Monumente, errichtet zur Erinnerung an König Leopold I. zu Laeken bei Brüssel, zur Ausführung gebracht.[1])

Das Monument ist ein gothischer Bau mit vielen einzelnen Spitzen. Es sind zwei Absätze mit Ringgängen vorhanden. Aus dem obersten Absatz erhebt sich die hohe Spitze des Monumentes. Jeder Absatz ist durch einen Rundgang markirt. Ueber der Brüstung desselben ragen viele einzelne spitze Thürme heraus. Nach der Theorie des Schutzkreises würde es genügen, die oberste Spitze mit einer Fangstange zu versehen, da alle anderen Theile des Monumentes innerhalb des Schutzkreises dieser Spitze liegen. Melsens hat hingegen alle Spitzen des ganzen Baues, überhaupt alle irgendwie gegen Blitzgefahr besonders exponirten Stellen durch kleine Fangstangen, welche sämmtlich untereinander in Verbindung stehen, geschützt. Die Fangstangen sind 0·5 bis 0·75 Meter lang. Von der obersten Spitze führt nicht eine Ableitung zum obersten Absatze herunter, sondern es gehen dahin deren mehrere, um durch die Möglichkeit der Theilung für den Blitz die Gefahr des Abspringens zu einer der Rosetten u. s. w. am Monumente auszuschliessen. Mit diesen Ableitungen sind dann die Fangstangen, welche ausserdem noch, wie erwähnt, unter sich in Verbindung stehen, verbunden. Von dem ersten Absatze führen darauf wieder mehrere Ableitungen zum zweiten Absatze und nehmen auch hier die Ableitungen von den einzelnen Thürmchen dieses Absatzes auf. Von hier aus führen die neun Ableitungsdrähte zur Erde, werden am Boden zu je drei zusammengefasst und dann mit einem eisernen Topfe verbunden, der in das Grundwasser gelegt wird.

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, II, 462.

Da bezüglich der Kosten einer Blitzableiteranlage nach dem Systeme Melsens verschiedene, zum Theile ganz falsche Meinungen herrschen, dürfte es zweckmässig sein, nachstehend einige diesbezügliche, von Melsens herrührende Angaben wiederzugeben.[1])

	Bedeckte Oberfläche, abgerundet in Quadratmeter	Kosten der Anlage in Francs	Kosten per geschützten Quadratmeter in Francs
Blitzableiter alten Systemes.			
Palast des Königs in Brüssel	7.800	23.551·07	3·02
Stallungen des Königs in Brüssel	2.800	17.446·59	6·23
Königl. Palais in Laeken	1.900	18·407·08	9·68
Blitzableiter nach System Melsens.			
Neuer Justizpalast . . .	16.600	10.840·00	0·65
Hôpital Saint-Pierre . .	6.300	4.849·40	0·77
Börse in Brüssel	3.200	1.496·65	0·47

G. Karsten[2]) giebt, sich auf bereits ausgeführte Anlagen stützend, nachstehende, natürlich approximative, Herstellungskosten an. Für ein einfaches Wohngebäude von 14 bis 18 Meter Länge, in zwei Stockwerken gebaut, sind etwa 100 bis 110 Mark zu rechnen. Ländliche ausgedehnte Bauten kosteten bei zwei grossen

[1]) Paratonnerres, Notes et Commentaires par Melsens. Ausstellungsbericht (Wien 1883) von M. E. Rousseau, p. 89.

[2]) G. Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektricität des Gewitters und die Wirkung des Blitzableiters, p. 49.

Scheunen und einem Wohnhause, wobei sieben Auffangstangen verwendet werden mussten, rund 700 M. Bei Landkirchen stellten sich die Preise zwischen 400 und 500 M. In Fällen, wo bei der Einschaltung der Glocken und der Uhr längere und doppelte Leitung erforderlich war, stellten sich die Preise circa 200 M. höher. Wo die Bodenableitung Schwierigkeiten darbietet und complicirtere Verhältnisse vorliegen, steigern sich diese Summen etwas.

O. Buchner[1]) macht, auf die Preisangaben der Firma H. Berghausen in Köln gestützt, nachstehende Mittheilungen über die Kosten von Blitzableiteranlagen. Für ein vierstöckiges Wohnhaus 213 M.; davon entfallen auf eine Fangstange mit rothkupferner Wetterfahne und Zinkmantel 75 M. und auf 36·1 Meter Kupferdrahtseilleitung 138 M. Die Kosten für den bis zum Knopfe 47 Meter hohen Thurm der evangelischen Kirche zu Crefeld betrugen 300 M., und zwar für 62·6 laufende Meter 36drähtiges Kupferdrahtseil 240 M., für eine Auffangstange aus schmiedeeisernem Rohre und mit kupferner, im Feuer vergoldeter mit Platin eingelegter Spitze 30 M. und für 18·8 laufende Meter Leitung zur Verbindung der Uhren mit dem Hauptleiter 30 M.

2. Blitzableiter für Pulvermagazine.

Ob Pulvermagazine oder überhaupt Gebäude, in welchen im hohen Grade feuer-, beziehungsweise explosionsgefährliche Stoffe aufbewahrt oder erzeugt werden,

---

[1]) O. Buchner, Die Construction und Anlegung der Blitzableiter, p. 154.

besonderer Blitzschutzvorrichtungen bedürfen, bildete schon zu Franklin's Zeiten einen Gegenstand lebhaftester Discussion. Zwar hatte sich schon Franklin in einem an Dawson gerichteten, vom 29. Mai 1755 datirten Schreiben über diese Frage folgendermassen geäussert: „Nach allen von mir in dieser Rücksicht gemachten elektrischen Versuchen, nach allen Beispielen, welche ich von den Wirkungen des Gewitters auf diese Ableiter kennen gelernt habe, scheint es mir, dass sie — nur müssen sie alle gut und vollständig sein und bis in's Wasser oder in einen sehr feuchten Erdboden reichen — gleich sicher sind, sie mögen entweder an die Mauer selbst befestigt und mit eingeschlagenen Klammern haltbar gemacht werden oder auf einer in die Erde in einiger Entfernung von den Mauern eingerammten Stange oder Mastbaum ruhen. Die erste Methode ist die angemessenste, weil man der Leitung eine Krümmung geben kann, um den Fenstern oder jenen Thüren auszuweichen, die gerade unter der Giebelspitze sich befinden".

Trotz dieses Ausspruches glaubten doch sowohl einzelne Männer als auch verschiedene Commissionen für die Anlage von Blitzschutzvorrichtungen auf Pulvermagazinen besondere Vorschriften geben zu müssen, beziehungsweise die Vorschläge der französischen Commission von 1823 empfehlen zu sollen. Nach letzteren soll es bei Pulvermagazinen der Vorsicht gemäss sein, die Auffangstangen nicht auf den Gebäuden selbst, sondern auf Mastbäumen, die 2 bis 3 Meter entfernt sind, zu befestigen. Die Spitzen der Blitzableiter an den Masten müssen hierbei das Gebäude um mindestens 4 bis 5 Meter überragen. Für höhere Pulverthürme

mit geringer Flächenausdehnung, bei welchen die Anwendung von Masten nicht gut ausführbar erscheint, schlug die Commission sogar vor, die Auffangstangen ganz wegzulassen und statt dieser vielmehr eine kupferne Kugel anzubringen, „von welcher doppelte Leitungen ausgehen können, weil dann die Gefahr nicht zu befürchten sei, dass der Ableiter den Blitz anziehe". Kuhn[1]) bemerkt hierzu mit Recht, dass er das Anbringen von kugelförmigen Conductoren statt der Auffangstangen an Pulverthürmen für ein gefährliches Experiment halten muss.

Aber auch die Aufstellung von Masten ist aus verschiedenen Gründen nicht zu empfehlen. Zunächst könnte sie überhaupt nur dann in Betracht gezogen werden, wenn das zu schützende Gebäude keinerlei Schornsteine, Windfänge, überhaupt keine Bestandtheile besitzt, die über das Dach emporragen; dieses selbst müsste von jeder Art nennenswerther Metallmassen frei sein. Da ferner unsere Kenntnisse über den Schutzraum einer Fangstange sehr beschränkt sind, müssten die Gebäude mit einer grösseren Anzahl von Masten umgeben werden; diese selbst und die zwischen ihnen nothwendigen verbindenden Leitungen würden die freie Bewegung hemmen, bei Belagerungen der Zerstörung durch den Feind sehr stark exponirt sein. Endlich verursacht auch die gegen Wind und Wetter feste und sichere Aufstellung der Maste erhebliche Schwierigkeiten.

Daher haben schon Hemmer, Beccaria u. A. den Schutz durch getrennt vom Gebäude aufgestellte Maste verworfen. Beccaria hält es vielmehr für rath-

---

[1]) G. Karsten, Encyklopädie der Physik, XX, p. 213, Anm. 60.

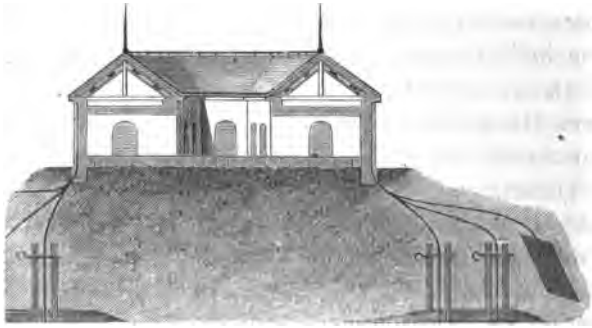
sam, von den Pulvermagazinen und namentlich von deren Dächern nach Möglichkeit alle metallischen Bestandtheile zu entfernen, die Mauern und Gewölbe bombenfest herzustellen und mit trockener Erde zu bedecken. Steht die Wahl des Ortes für das Magazin frei, so sollen möglichst tief gelegene Orte gewählt werden. In anderer Weise könne hingegen dadurch ein Blitzableiter für das ganze Gebäude geschaffen werden, dass man dasselbe mit Kupfer eindeckt, an den vier Ecken grosse kupferne Röhren anbringt und diese mit ihren unteren Enden durch grosse angenietete Kupferplatten mit der Erde in Verbindung setzt. Beccaria's zweiter Vorschlag läuft also eigentlich auf die Anwendung eines Faraday'schen Häuschens hinaus. In neuerer Zeit hat sich auch Thomson (auf dem Congresse der Elektriker zu Paris 1881) für einen derartigen Schutz ausgesprochen, indem er die Ansicht äusserte, jede Gefahr sei dadurch zu vermeiden, dass man das Pulver in metallische Gefässe einschliesst; der wahre Schutz der Gebäude bestünde darin, dass man dieselben vollständig mit Eisen umhülle. (Vergleiche auch Seite 29 u. f.).

Auch C. Kuhn gelangt zu der Ansicht, dass es zum Schutze von Pulvermagazinen und ähnlichen Objecten keiner speciellen Blitzschutzvorrichtungen bedarf, aber allerdings unter der Voraussetzung, dass die Anlage zwar in gewöhnlicher Weise entworfen, jedoch mit äusserster Sorgfalt und Genauigkeit ausgeführt wird und betont ausdrücklich, dass eine derartige Arbeit nur einem erprobten Fachmanne zu übertragen sei.

Ausserdem soll womöglich schon bei der Ausführung des Bauwerkes dafür gesorgt werden, dass das Regenwasser etc. nie in der Nähe des Gebäudes sich

ansammeln, keinesfalls solche Ansammlungen in den untersten Räumen desselben oder an seinen Fundamenten eintreten können; überhaupt soll der Boden, auf welchem das Gebäude steht, immer trocken erhalten bleiben. Die Leitungen sollen, wenn es thunlich ist, in den Mauern (Fig. 49) oder wenigstens in Rinnen, die an der äusseren Mauerwand aufgeführt werden, sich befinden. Grosse Sorgfalt ist der Anlegung der Bodenleitung zuzuwenden;

Fig. 49.



diese soll nie einfach, sondern mehrfach verzweigt sein und ausschliesslich für den Blitzableiter des Pulvermagazines dienen.

3. Blitzschutz für Kirchen.

Bedingen Pulvermagazine ihres gefährlichen Inhaltes wegen besondere Sorgfalt bei der Anlage von Blitzschutzvorrichtungen, so stellen Kirchen diese Anforderung theils wegen ihrer häufig sehr exponirten Lage, theils wegen ihrer hoch in die Luft ragenden Thürme. Letztere sind es daher auch, welche in erster Linie in Betracht kommen; in welcher Weise ihre Be-

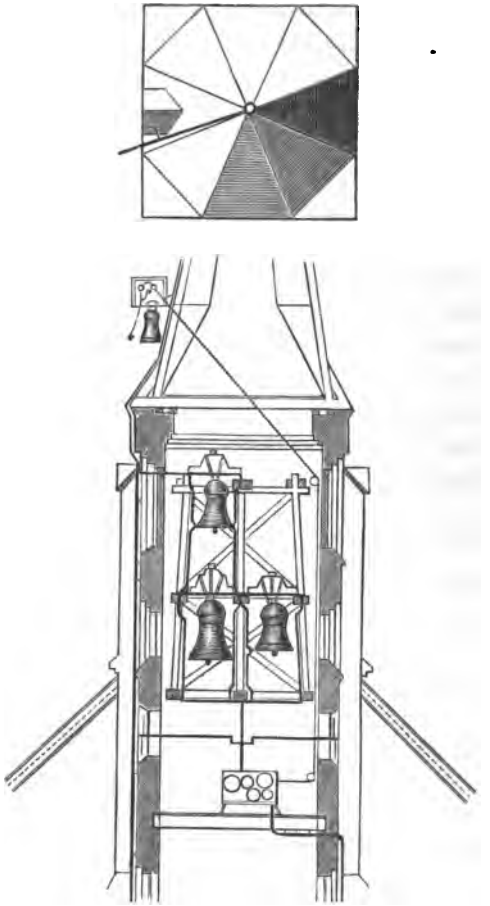
waffnung mit einer Fangstange oder Spitze erfolgt, haben wir bereits erfahren (Seite 90 u. f.). Dem ist noch ergänzend Einiges beizufügen. Die Ableitung, deren Stärke nach Massgabe ihrer Länge (vergl. S. 105) zu wählen ist, hat stets direct in die Erde zu erfolgen; erscheint es geboten, andere Theile, z. B. das Kirchenschiff in die Blitzableiteranlage einzubeziehen, so müssen Nebenleitungen angeordnet werden. Im Allgemeinen kann der Blitzableiter auf dem Thurme als hinlänglicher Schutz auch für die Kirche angesehen werden, wenn diese ein einfaches Schiff bildet, dessen Länge die Höhe des Thurmes über der Dachfirst nicht übersteigt.

Da die Thurmleitung stets direct in die Erde zu führen ist, wird auch für kleine Kirchen eine Erdleitung nicht mehr ausreichen, sobald auf der dem Thurme gegenüberliegenden Seite des Kirchenschiffes ein besonderer Anziehungspunkt, also z. B. eine grössere Wassermasse vorhanden ist. In diesem Falle versieht man dann das Schiff mit einer Firstleitung, die einerseits mit der zur Wassermasse geführten Erdleitung verbunden ist, andererseits sich an die Thurmleitung, am Zusammenstosspunkte der Dachfirst mit dem Thurme anschliesst. Einem Thurme zwei Ableitungen zu geben, ist überflüssig. Hingegen muss bei einer Kirche mit zwei Thürmen stets jeder Thurm einen eigenen Blitzableiter erhalten.

Das Kirchenschiff erhält eine oder mehrere Fangstangen entsprechend seiner Form und Grösse. Für die Aufstellung der Fangstangen kommen hierbei namentlich kleine Thürmchen, die sogenannten Dachreiter in Betracht, die stets eine Spitze erhalten sollen. Besondere Vorsicht ist der Einschaltung der oft in grösserer

Masse oder in einer Art metallischer Kette vorhandenen Metallmassen wie eiserne Anker, Schliesseisen, Treppen

Fig. 50.



und Treppengeländer, Drahtseile, die Glocken und das Uhrwerk u. s. w. zuzuwenden. Es sind namentlich

bei Kirchen viele Fälle bekannt geworden, wo der Blitz von im Uebrigen ganz zweckmässig angelegten Blitzableitern absprang, weil er durch unberücksichtigt gebliebene Metallmassen eine bessere Ableitung fand. Beschädigungen an den Glocken und am Uhrwerke kommen bei Blitzschlägen besonders häufig vor, weshalb die Einbeziehung der genannten Bestandtheile wohl in den meisten Fällen zu verlangen ist. Wie dies geschehen kann, zeigt die Skizze, Fig. 50, einer an mehreren Kirchen bereits ausgeführten Leitung,[1]) bei welcher die obere Leitung in zwei sich spaltenden Zweigen, deren einer um Glocken und Uhr geht, zum Boden hinabgeführt ist.

In ähnlicher Weise wie bei Kirchthürmen hat man natürlich auch bei Thürmen anderer Art vorzugehen. Leuchtthürme sind wegen der Nähe des Meeres, wodurch sehr bedeutende Entladungen veranlasst werden können, mit stärkeren Leitungen zu versehen. Melsens verbindet z. B. die ganz aus Metall construirte Laterne des Leuchtthurmes (von Ostende) mit acht Leitungen aus verzinktem Eisen und giebt jeder derselben einen Durchmesser von 10 Millimeter; überdies werden diese acht Leitungen untereinander durch mehrere gürtelförmige Leitungen zu einem metallischen Ganzen vereinigt.

4. Blitzableiter auf Fabriksschornsteinen und Windmühlen.

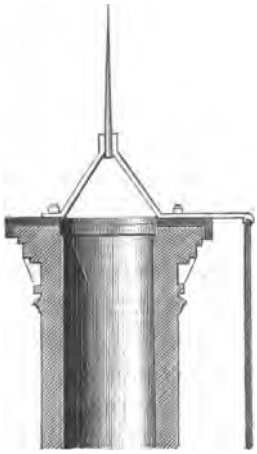
Aehnliche Verhältnisse wie Thürme überhaupt bieten hohe Fabriksschornsteine und Windmühlen

---

[1]) G. Karsten, Gemeinfassliche Bemerkungen über die Elektricität des Gewitters und die Wirkung der Blitzableiter, p. 46.

der Anlage von Blitzableitern dar. Fabriksschornsteine bilden nicht nur durch ihre Höhe, sondern auch in Folge ihrer inneren Auskleidung durch den halbleitenden Russ und die ausströmenden Feuergase besondere Anziehungspunkte für den Blitz. Hat man es mit eisernen Kaminen zu thun, so ist die Blitzschutzvorrichtung in sehr einfacher Weise zu bewerkstelligen. Auf dem oberen Ende wird eine Fangstange von geringer Länge aufgesetzt und das untere Ende des Schornsteines mit der Erde in gut leitende Verbindung gebracht.

Fig. 51.

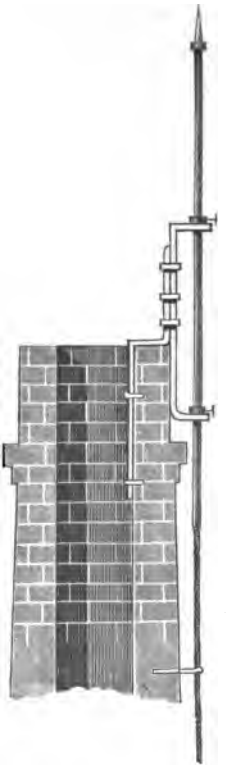


Gemauerte Schornsteine pflegt man oben mit Eisenplatten abzudecken. Auf diesen erfolgt dann häufig die Befestigung der Fangstange durch drei mit den Platten, beziehungweise mit der Fangstange verschraubten oder vernieteten Stützen aus Walzeisen, wie dies Fig. 51 zeigt. Die Leiung ist dann entweder direct mit der Fangstange oder auch mit einer der den Schornstein abdeckenden Platten verbunden und längs des Schornsteines zur Erde herabgeführt. Die Leitung muss bei Schornsteinen gleichwie bei Thürmen eine Hauptleitung sein, d. h. bei genügender Stärke direct zur Erde führen.

Diese häufig beliebte Aufstellung des Blitzableiters ist jedoch ganz verwerflich, da sie sowohl die Spitze als auch die Verbindungen der ständigen Einwirkung der Feuergase aussetzt und dadurch deren baldige Zer-

störung herbeiführt; diese wird noch mehr beschleunigt, wenn der Schornstein, wie dies bei Fabriken häufig der Fall ist, nicht nur Feuergase ableitet, sondern auch noch zur Entfernung anderer Gase und Dämpfe (Schwefeldioxyd, Chlorwasserstoff, Ammoniak u. s. w.) verwendet wird. Aus diesen Gründen kann daher nur eine seitliche Aufstellung und Befestigung der Fangstange gebilligt werden, wie eine solche z. B. in Fig. 34, Seite 129, für kleine und in Fig. 52 [1]) für grosse Schornsteine abgebildet ist. Aus demselben Grunde ist auch die Seite des Schornsteines, auf welcher die Stange befestigt wird, nicht gleichgiltig; man hat vielmehr hierzu jene Seite zu wählen, welche der vorherrschenden Windrichtung des betreffenden Ortes am meisten ausgesetzt ist, also in unseren Gegenden gewöhnlich die Westseite, weil dann die Gichtgase selten über die Fangstange streichen werden.

Fig. 52.

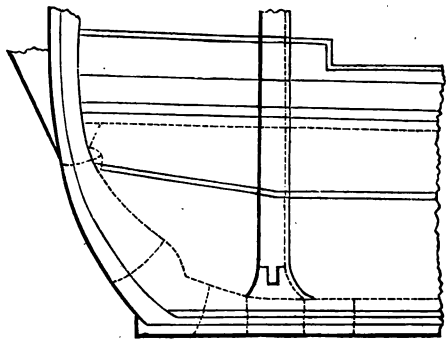


Fangstangen auf Essen, welche nicht nur indifferente Verbrennungsgase aushauchen, versieht man zweckmässig noch mit einer Schutzhülle; es kann hierzu ein Blei-, Thon- oder Glasrohr Verwendung finden. Für die

[1]) O. Buchner, Die Construction und Anlegung der Blitzableiter, p. 112.

der Spitze der Masten ist eine Kupferhaube angebracht, an der ein Kupferstab um ein Charnier beweglich ist und gegen die Leitung sich lehnt. Die Leitung ist von der Spitze des Mastes längs der hinteren Seiten des Königsmastes und der Bramstange herabgeführt und steht hierbei mit den Scheibenlöchern in Verbindung. Durch einen kupfernen Streifen an der hinteren Seite des Cap, durch welches der Topmast gleitet, wird die Verbindung an die hintere Seite des Topmastes und

Fig. 56.



von da ab bis zum Mastblocke geführt. Hier trifft die Leitung mit einem weiteren dicken, breiten kupfernen Streifen zusammen, welcher unter der Ferse des Mastes (Fig. 56) um den Mastblock geht und auf einer an der Kielschwinne befestigten Kupferschichte ruht. Diese steht mit einigen der Kielschwinnebolzen und mit anderen Bolzen in Verbindung, die mit dem den Boden umkleidenden Kupfer in Berührung stehen."

Das bereits erwähnte, von Harris befolgte Constructionsprincip, die Anwendung grosser Metallmassen bei grosser Oberfläche, erfordert allerdings einen bedeutenden

Kostenaufwand. Hingegen haben sich aber die nach Angabe von Harris mit Blitzableitern versehenen Schiffe in zahlreichen amtlich beglaubigten Fällen als vollkommen sicher gegen Blitzgefahr erwiesen. Auch können die von Harris geforderten Dimensionen, unbeschadet der Wirksamkeit der Anlage, noch eine gewisse Reduction erfahren. Ferner steht andererseits der Schaden, welcher Schiffen ohne ausreichender Schutzvorrichtung zugefügt wird, noch immer in keinem Verhältnisse zu den Kosten einer Anlage nach Harris. So erwähnt z. B. Arago, dass der grosse Untermast einer Fregatte circa 1300 Thaler, der grosse Untermast eines Linienschiffes circa 2700 Thaler koste. — C. Kuhn theilt (l. c.) mit, dass bei 150 Blitzschlägen 100 Matrosen getödtet, 250 gefährlich verwundet wurden. In dem kurzen Zeitraume von fünf Jahren sind 40 Linienschiffe, 20 Fregatten und 10 Corvetten der englischen Marine durch Blitzereignisse kriegsunfähig geworden. Es mag schliesslich noch bemerkt werden, dass die Anlage von Blitzableitern in der Weise mehr und mehr erleichtert wird, als in neuerer Zeit eiserne Schiffe die hölzernen verdrängen.

6. Blitzableiter für Telegraphen- und Telephonleitungen.

Im selben Masse, als die Dichte des die Erde umspannenden Telegraphen- und Telephonnetzes zunimmt, steigt auch die Blitzgefahr für dasselbe. „Die Drahtleitungen mit den Tragpfählen bilden," sagt Steinheil[1])

[1]) H. Schellen, Der elektromagnetische Telegraph, V. Aufl. p. 796.

sehr treffend, „Blitzableiter von kolossalen Dimensionen und von vorzüglicher Wirksamkeit, weil dieses System in einer gewissen Höhe über der Erdoberfläche sich auf weiten Strecken, fern von anderen hervorragenden Körpern, ausbreitet und durch seine metallische Verbindung mit der feuchten Erde unter dem Einflusse irgend einer in der Nähe der Leitung befindlichen elektrischen Wolke sich sehr leicht mit der entgegengesetzten Elektricität bis zur höchsten Spannung laden kann. In diesem Zustande sind, wenn die Gewitterwolke tief genug hängt, alle Bedingungen zu einer Entladung gegen den Telegraphendraht hin vorhanden."

Es ist nicht schwer einzusehen, dass hierbei die Telegraphendrähte die ihnen aufgezwungene Rolle von Blitzableitern auf ihre eigene Gefahr hin spielen müssen. Wie in jedem anderen Leiter, so wird der Blitz auch in den Telegraphenleitungen überall dort Zerstörungen anrichten, wo seinem Durchgange ein zu grosser Widerstand entgegengesetzt wird. Die hierdurch bewirkten Gefahren und Beschädigungen gewinnen aber durch den Umstand noch wesentlich an Bedeutung, dass die Telegraphendrähte Strecken von vielen Meilen Länge durchlaufen und durch diesen Umstand die angedeuteten Gefahren an Orten herbeiführen können, die weit von einander oder von jenem Orte entfernt sein können, an welchem ein Gewitter stattfindet.

Die hier herrschenden Umstände würden unseren gegenwärtigen kolossalen Telegraphenbetrieb ganz unmöglich machen, wenn man nicht durch entsprechende Blitzschutzvorrichtungen den angedeuteten Gefahren zu begegnen gesucht hätte. Dass trotzdem alljährlich bedeutende Schäden zu verzeichnen sind, zeigen die

namentlich in neuerer Zeit von vielen Staaten mit grosser Sorgfalt gesammelten statistischen Ausweise. Auf diese selbst und speciell auf die Arten der Beschädigungen hier näher einzugehen, mangelt uns der Raum; den sich für diesen Gegenstand eingehender interessirenden Leser verweisen wir vielmehr auf die betreffenden Fachzeitschriften.

Bevor wir uns jedoch den einzelnen Blitzschutzvorrichtungen selbst zuwenden, mögen die Arten, in welchen die Gewitterelektricität sich auf die Telegraphen- und Telephonleitungen geltend machen kann, kurz skizzirt werden.

Die Gewitterwolke kann zunächst in der Weise wirken, dass sie durch Influenz eine sehr hohe Spannung auf den Drähten und der mit ihnen in vielfacher Verbindung stehenden Erde hervorruft. Schwebt dann die Gewitterwolke tief genug oder wird sie von den entgegengesetzt elektrischen Drahtleitungen, beziehungsweise von der Erde herabgezogen, so werden sich schliesslich beide Elektricitäten bei hinreichender Spannung unter Durchbrechung der zwischenliegenden Luftschichte vereinigen, d. h. es erfolgt ein Blitzschlag zwischen den Wolken und den Drahtleitungen. Von der Stärke der Entladung und von der Leitungsfähigkeit der Drähte wird es dann abhängen, ob und welcher Schaden entsteht. Die Drähte können hierbei zerrissen, geschmolzen oder zerstäubt werden, dasselbe kann mit den Isolatoren geschehen, die Elektricität kann durch die vom Regen durchnässten Holzpfähle theilweise oder ganz zur Erde abfliessen und dabei erstere zertrümmern, sie kann aber auch, ohne die Leitungen wesentlich zu beschädigen, auf diesen weite Strecken zurücklegen und

in die Telegraphenstationen eindringen; je nach der Stärke der Entladung können dann daselbst grössere oder geringere Verwüstungen angerichtet werden.

Sehr gefährliche elektrische Entladungen können aber auch durch den sogenannten Rückschlag in den Leitungsdrähten hervorgerufen werden. Bevor nämlich der Blitzschlag zwischen der Wolke und irgend einem Objecte auf der Erdoberfläche stattfindet, wirkt die hochgespannte Elektricität vertheilend auf die Leitungen und trennt daselbst beide Elektricitäten von einander. Erfolgt hierauf der Blitzschlag, so vereinigen sich auch die beiden von einander getrennten Elektricitäten und der Ausgleich erfolgt innerhalb der Leitungen. Die Folgen eines solchen Rückschlages, der wegen der grossen Ausdehnung und der Verbindungen der Leitungen mit der Erde sehr leicht eintreten kann, werden dieselben sein wie die eines directen Blitzschlages.

Eine Störung des elektrischen Gleichgewichtszustandes kann aber auch dadurch hervorgerufen werden, dass eine Gewitterwolke quer über die Leitungen hinwegzieht. In Folge der von der Wolke ausgeübten Influenzwirkung wird die ungleichnamige Elektricität in den Drähten von der Elektricität der Wolke angezogen und festgehalten, während die gleichnamige durch die Leitung zur Erde abfliesst. Entfernt sich dann die Wolke von den Leitungen, so hört die Anziehungswirkung auf und nun fliesst die ungleichnamige Elektricität durch die Drähte zur Erde ab. In dieser Weise werden also zwei aufeinanderfolgende entgegengesetzt gerichtete Ströme in der Leitung auftreten.

Elektrische Ströme können aber selbst dann, wie Baumgartner nachgewiesen hat, auftreten, wenn gar

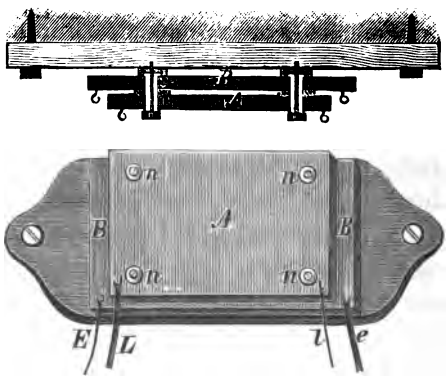
keine Gewitterwolke auf die Leitungen einwirkt. Es genügen hierzu verschiedene elektrische Zustände in der Atmosphäre zweier weit von einander entfernter Punkte der Leitungen. Elektrische Störungen, auf diese Art bewirkt, treten namentlich dann leicht ein, wenn die Leitungen nicht horizontal verlaufen, sondern Berg und Thal verbinden, da ja bekanntlich der elektrische Zustand der Atmosphäre sich mit der Höhe ändert. Auch hierdurch erregte Strömungen können hinreichende Stärke erhalten, um den Telegraphenbetrieb zu stören.

Diese kurzen Andeutungen vorausgeschickt, wollen wir uns nunmehr den Blitzschutzvorrichtungen selbst zuwenden und einige derselben näher kennen lernen. Ströme hoher Spannung ziehen einer langen ununterbrochen metallischen Leitung kurze, wenngleich theilweise unterbrochene Leitungen vor, indem sie die Unterbrechungen in Form von Funken überspringen. Da nun in der Telegraphie Ströme geringer Spannung zur Anwendung gelangen, während die elektrischen Entladungen der Atmosphäre sich durch hohe Spannung auszeichnen, so kann das verschiedene Verhalten der atmosphärischen Elektricität und der Batterieströme dazu benützt werden, beide, wenngleich auf derselben Leitung anlangend, doch von einander zu trennen, d. h. die gefährlichen atmosphärischen Entladungen unschädlich abzuleiten, ohne hierbei die Telegraphenapparate einer Gefahr auszusetzen oder ihren Betrieb zu stören.

Von diesen Erwägungen geleitet, hat bereits **Steinheil** im Jahre 1846 auf der Linie München-Nannhofen einen Telegraphen-Blitzableiter angebracht. Derselbe bestand aus zwei Kupferplatten, die durch ein Stück Seidenzeug von einander getrennt waren; die eine Kupfer-

platte war mit der in der Station anlangenden Linienleitung und mit einem zu den Stationsapparaten führenden Drahte verbunden, von der anderen Platte aus ging die Linienleitung weiter, während gleichzeitig der aus den Stationsapparaten kommende Draht an diese Platte angeschlossen war. Somit konnte der durch die Linie anlangende Telegraphirstrom die Apparate in ununterbrochen metallischer Leitung passiren, die hochgespannte atmosphärische Elektricität, unter Vermeidung des Um-

Fig. 57.



weges über die Stationsapparate, das Seidenzeug in Funkenform durchschlagen und direct von Kupferplatte zu Kupferplatte die Leitung passiren. Nach Steinheil construirten bald darauf Bréguet, Fardely u. A. verbesserte Blitzableiter.

Wie aus vorstehender Beschreibung des Steinheil'schen Blitzableiters ersichtlich, wurde die atmosphärische Elektricität nicht direct zur Erde abgeleitet, sondern nur mit Umgehung der Stationsapparate in die Leitung weiter befördert. Die später erdachten Blitzableiter wurden

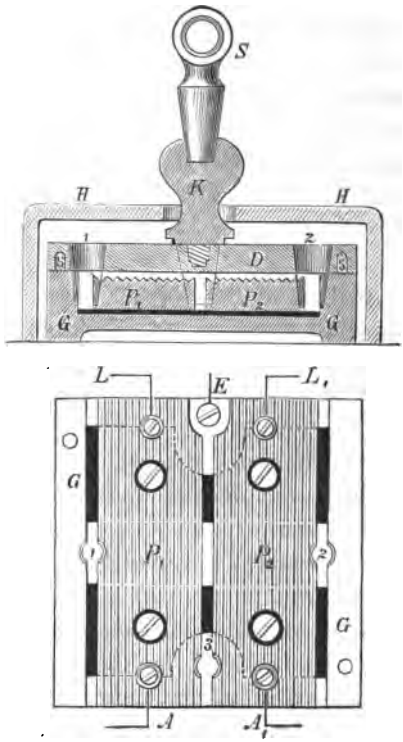
nunmehr alle dahin verbessert, dass man sie zur directen Ableitung der atmosphärischen Elektricität in die Erde befähigte. Diese Einrichtung zeigt bereits die von **Meissner** angegebene, in Fig. 57 dargestellte Blitzplatte. Die Linienleitung ist durch den Draht *L* mit einer 21 Centimeter langen, 10 Centimeter breiten und 1·5 Centimeter dicken Kupferplatte *A* verbunden und von dieser führt ein dünner Draht *l* zu den Telegraphenapparaten. Der aus letzteren kommende Draht ist bei *E* mit einer zweiten Kupferplatte *B* verbunden, von welcher ein starker Draht *e* zur Erdplatte geht. Beide Kupferplatten sind durch vier Schrauben *nnnn* mit dem Grundbrette verbunden, welches an einer Mauer des Telegraphenzimmers befestigt werden kann. Die Löcher in den Kupferplatten, durch welche die vier Schrauben *nnnn* gehen, sind mit Elfenbeinröhrchen ausgekleidet und das Zusammenfallen beider Kupferplatten verhindern etwa 0·25 Millimeter dicke Scheibchen aus Elfenbein oder Hartgummi; die beiden Kupferplatten sind also von einander isolirt.

Der durch *L* anlangende Telegraphirstrom geht in Folge dieser Construction in die Platte *A*, über diese durch den Draht *l* zu den Apparaten, gelangt dann durch den Draht *E* auf die Kupferplatte *B* und fliesst durch diese und die Leitung *e* zur Erde ab. Atmosphärische Entladungen nehmen hingegen ihrer hohen Spannung wegen folgenden kürzeren Weg: Bei *L* auf der Platte *A* anlangend, springen sie von dieser durch die dünne Luftschichte auf die Platte *B* über und fliessen durch *e* direct zur Erde ab.

Zu den gegenwärtig am verbreitetsten und zugleich sehr einfachen Blitzplatten gehören die der Firma

Siemens & Halske. Auf einem gusseisernen Grundgestelle *G G*, Fig 58, sind, durch eine Hartgummiplatte von ihrer Unterlage isolirt, zwei gleichfalls gusseiserne, an ihrer Oberfläche geriefte Platten P_1 P_2

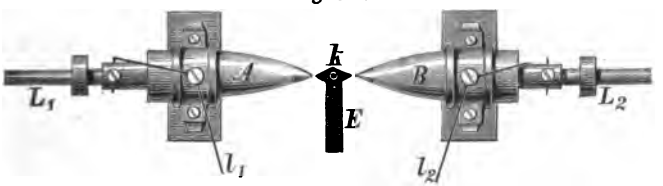
Fig. 58.



befestigt. Diesen gegenüber befindet sich die an ihrer unteren Fläche geriefte Gusseisenplatte *D*. Die Riefen der unteren Platten sind von jenen der Deckplatte ungefähr 0·5 Millimeter weit entfernt. Stahlzapfen *s s*

dienen zum sicheren Aufsetzen der Deckplatte auf das Grundgestelle; dieses und somit auch die Deckplatte stehen mit der Erdleitung E in Verbindung, während an die Platte P_1 eine Linienleitung L und eine Apparatenleitung A und an die Platte P_2 die andere Linien- und Apparatenleitung (L_1 und A_1) angeschlossen sind. Somit kann also z. B. der durch die Linienleitung ankommende Strom von L_1 über die Platte P_2 und durch A_1 zum Apparate gehen, von wo aus er zur Erde abfliesst, oder durch A_1 die Platte P_1 und die Leitung L zur nächsten Station weitergeht. Eine durch L anlangende Entladung atmosphärischer Elektricität

Fig. 59.



wird jedoch den kürzeren Weg wählen, d. h. von der Platte P_2 auf die Platte D überspringen und zur Erde abfliessen.[1])

Von den vorbeschriebenen Blitzplatten unterscheiden sich zwar nicht dem Principe, aber der Form nach die Spitzenblitzableiter. Ein solcher wurde z. B. von **Nottebohm** construirt. Zwischen den beiden Messingzapfen A B, Fig. 59, ist ein metallischer Doppelkonus k so befestigt, dass sich die vier Spitzen möglichst nahe gegenüberstehen, jedoch ohne sich zu berühren.

[1]) Der Stöpsel in dem Holzknopfe K und die Bohrungen 1, 2 und 3 dienen dazu, um die Blitzplatte gleichzeitig als Linienwechsel verwenden zu können.

zwischen den beiden Platinspitzen, ist mit einem Gemenge von 50 Procent Holzkohlenpulver und 50 Procent Magnesia ausgefüllt. Die Luftlinie $L L_1$ schliesst mittelst eines dicken Drahtes direct zum Cylinder q an; die Weiterleitung zu den Bureau-Apparaten ist durch eine Spirale W von ganz dünnem übersponnenem Neusilberdrahte hergestellt. Der Cylinder p steht mit der Erdleitung E in Verbindung.

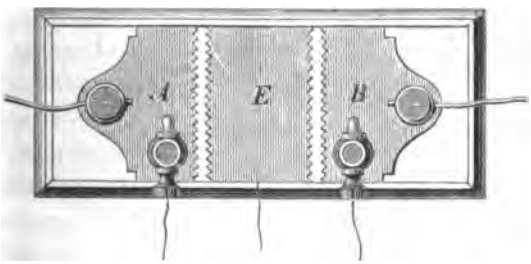
Die Füllung der Röhren mit dem obgedachten Gemenge hat den Zweck, jene Inductionsströme, welche in der Leitung nach und zufolge atmosphärischer Entladungen entstehen und nicht kräftig genug sind, um überzuspringen, auf die Bureau-Apparate aber nichtsdestoweniger schädigend einwirken, unschädlich zu machen. Der von der Luftlamelle zur Erdlamelle überspringende Entladungsfunke bringt das zwischen den Platinspitzen befindliche, im kalten Zustande schlecht oder wenigstens so schlecht leitende Gemenge, dass dadurch ein störender Verlust des Betriebsstromes nicht herbeigeführt wird, zum Glühen und macht es dadurch so leitungsfähig, dass der hinter der Entladung folgende Magnet-Inductionsstrom einen bequemen Weg zur Erde findet, ehe er in die Apparate dringen kann. Die fast momentan erkaltende Masse ist wieder so nicht leitend wie früher."

Die Ausfüllung der kleinen Zwischenräume zwischen den Spitzen oder Platten der Blitzableiter durch einen Halbleiter zu dem Zwecke, um den Funken den Uebergang zu erleichtern, wird übrigens von verschiedenen Constructeuren angewandt. So gelangt z. B. bei den Apparaten von Pouget und Masson Alkohol zur Verwendung, bei den in England vielfach gebrauchten

Blitzplatten eine Papierzwischenlage; das mit Paraffin getränkte Papier hat hierbei eine Dicke von 0·002 Zoll (englisch). Zu dieser Art Blitzableiter gehören ferner auch die Vacuum-Blitzableiter von Varley u. A.

Ein einfacher, in Frankreich häufig gebrauchter Apparat ist **Bréguet's** Spitzenblitzableiter. Dieser besteht, wie Fig. 61 erkennen lässt, aus drei Kupferlamellen, deren mittlere *E* an zwei Seiten sägeartig gezackt ist, während die seitlichen Lamellen *A B* nur an den der mittleren Lamelle zugekehrten Seiten gezahnt sind. Die drei Lamellen sind auf einem Grund-

Fig. 61.

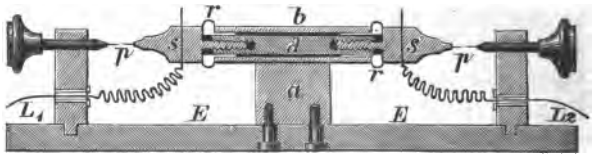


brette derart befestigt, dass sich deren Zähne, ohne sich zu berühren, möglichst nahe gegenüberstehen. An die seitlichen Lamellen sind mit Hilfe von Klemmschrauben in bekannter Weise die Linien- und Apparatenleitungen angeschlossen und von der mittleren Lamelle führt eine Leitung in die Erde. Die Wirkungsweise des Apparates, der gewissermassen eine Vervielfachung der Vorrichtung von Nottebohm darstellt, bedarf keiner näheren Erklärung.

Ganz ähnliche Apparate stehen bei dem Telephonnetze in Triest in Anwendung. Zwei Platten *a* und *b*,

mit der Erde in leitende Verbindung gesetzten Zinkplatte *E* ist ein Messingstück *a* befestigt, welches oben eine cylindrische Bohrung zur Aufnahme des Messingcylinders *b* besitzt. In diesem Hohlcylinder steckt ein massiver Cylinder *d*, gleichfalls aus Messing, an dessen Stirnseiten Gewinde zur Befestigung der Schrauben *s s* eingeschnitten sind. Letztere und die Elfenbeinröhrchen *r r* halten den massiven Cylinder *d* derart schwebend im Cylinder *b*, dass ersterer von letzterem rund um 0·5 Millimeter weit entfernt ist. An die Schrauben *s*, welche bei *p p* mit Spitzen versehen und welchen daselbst Spitzen entgegengestellt sind, werden die Leitungen L_1 L_2 angeschlossen.

Fig. 63.



Die Telegraphirströme, welche z. B. durch L_1 anlangen, gehen durch den die beiden Schrauben *s s* verbindenden Messingcylinder *d* und die Leitung L_2 zu den Apparaten. Den atmosphärischen elektrischen Strömen stehen zwei kürzere Wege zur Erde offen, nämlich von dem massiven Cylinder *d* durch die 0·5 Millimeter dicke Luftschichte zu dem Hohlcylinder *b* und von hier durch *a* und die Zinkplatte zur Erde, oder von *d* durch die Schrauben *s s* und die Spitzen bei *p p* zur Zinkplatte und zur Erde. Dass die Elektricität von dem massiven Cylinder *d* auf den Hohlcylinder *b* wirklich continuirlich und nicht in Funkenform überspringt, hat man sich durch häufige Untersuchungen nach stattgehabter Entladung

überzeugt, da sich hierbei nie Spuren von Abbrennen oder Schmelzungen im Cylinder zeigten.

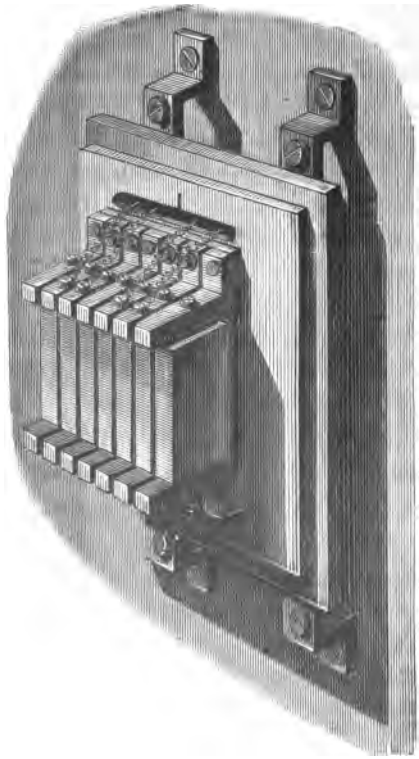
Die verschiedenen Blitzableiter haben sich zwar als ausreichend für den Schutz der Apparate erwiesen, üben aber diesen Schutz nicht selten in der Weise aus, dass sie den Telegraphen- oder Telephonbetrieb zeitweilig stören; bei starken Entladungen werden nämlich die Spitzen oder Zähne häufig geschmolzen und das geschmolzene Metall bewirkt dann einen kurzen Schluss, indem es die Linienleitung metallisch mit der Erdplatte verbindet. In grösseren Stationen, in welchen ein geschultes Personale zur Verfügung steht, wird dieser Uebelstand allerdings nicht fühlbar werden, weil er rasch behoben werden kann. Dies ist aber nicht mehr der Fall auf kleinen Eisenbahnstationen oder auf Streckenblock- oder Streckensignalposten, wo kein mit den nöthigen Kenntnissen der Apparatconstructionen ausgerüstetes Personal zur Verwendung kommen kann. Hier ist es wünschenswerth, Blitzableiter zu besitzen, welche ohne Betriebsstörungen die Apparate zu schützen vermögen. Die Lösung dieser Aufgabe gelang F. R. Ulbricht durch die Construction seines **Kohleblitzableiters.**

Die Form, in welcher der Kohleblitzableiter nach seinen Angaben[1]) ausgeführt wird, ist in Fig. 64 dargestellt. Jede Kohlenplatte, aus feinkörniger, fester Retortenkohle geschnitten und sorgfältig geschliffen, wird durch einen Metallbügel gehalten, welcher von dem an der Wand zu befestigenden metallenen Untergestelle durch eine Hartgummieinlage getrennt ist. Zur einmaligen

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift (Berlin), VI (1885), p. 343.

Justirung des Apparates werden zwischen die gelockerten Kohlenplatten Kartenblätter von etwa 0·25 Millimeter Stärke geschoben, die Platten hierauf zusammengerückt, durch Anziehen der Klemmschrauben festgestellt und

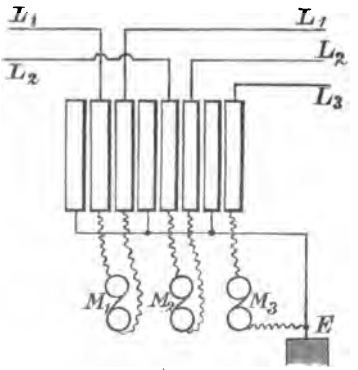
Fig. 64.



nun die Kartenblätter herausgezogen. Die gegenseitige Lage der Theile bleibt hiernach, im gewöhnlichen Sinne genommen, unveränderlich. Die Anordnung der Platten ist so getroffen, dass auf je eine Erdlamelle zwei zu

einem Telegraphenapparate gehörige Leitungslamellen folgen, woran sich wiederum eine Erdlamelle u. s. w. schliesst, wie dies die Schaltungsskizze Fig. 65 zeigt. Hierdurch wird der Vortheil erreicht, dass jeder Entladungstheil, nicht nur der zur Erde gehende, sondern auch der aus dem einen Leitungszweig in den anderen überschlagende stets nur einen Luftzwischenraum zu passiren hat. Der ganze Blitzableiter wird durch einen an das Untergestell gut anschliessenden Schutzkasten vor Staub geschützt.

Fig. 65.



Ulbricht hat die Verwendbarkeit seines Blitzableiters auch experimentell geprüft. Zu diesem Behufe wurden zunächst in den Schliessungskreis eines Flaschencondensators von 12 Quadratmeter Oberfläche (vergl. S. 50) der Kohleblitzableiter und eine Funkenstrecke geschaltet; letztere wurde von 1 Millimeter bis zu 20 Millimeter gebracht und doch blieben die Kohlen trotz der sehr beträchtlichen Entladungen unverändert; es wurde nur etwas Kohlenstaub ausgetrieben, während ein mit dem Blitzableiter perallel geschaltetes Relais unberührt blieb.

Da das Zusammenschmelzen der Metallspitzen in den Blitzableitern keine Wirkung der hohen Spannung, sondern der Quantität sein muss, erprobte Ulbricht seinen Kohleblitzableiter auch durch die Ströme einer dynamoelektrischen Maschine. Es wurde durch diese

zwischen zwei Metallspitzen eines gewöhnlichen Blitzableiters ein Voltabogen erzeugt, der jedoch kaum eine halbe Secunde dauerte und dann erlosch, weil in dieser Zeit durch das geschmolzene Metall bereits eine metallische Brücke von Spitze zu Spitze hergestellt war, gerade so, wie dies der Blitz häufig bewirkt. Wurde hingegen der Kohleblitzableiter in gleicher Weise dem Versuche unterworfen, so veränderte sich dieser an den betreffenden Stellen fast gar nicht. Erst wenn der Voltabogen etwa eine Minute lang einwirken konnte, traten Auftreibungen der Kohle ein, welche zwei benachbarte Platten miteinander in Contact brachten. Somit ist der Kohleblitzableiter bedeutend beständiger als jeder Blitzableiter aus Metallen.

Bei vergleichenden Versuchen zwischen den gebräuchlichen Spitzen- und Plattenblitzableitern einerseits und dem Kohleblitzableiter andererseits stellte sich in Bezug auf Empfindlichkeit stets eine Ueberlegenheit des Kohleblitzableiters heraus. Letzterer zeigte sich sogar wirksamer als der sehr empfindliche (weiter unten zu besprechende) Spindelblitzableiter, welcher bei den deutschen Fernsprechämtern in Verwendung steht. Auch das Einschieben eines Papierblattes zwischen die Kohlenplatten verminderte die Wirksamkeit des Kohleblitzableiters nur unbedeutend. Ulbricht erklärt die hohe Empfindlichkeit seines Blitzableiters einerseits durch die vielen feinen Spitzen der Kohlenplatten und andererseits dadurch, dass schon durch jene Elektricitätsbewegungen, welche der Funkenbildung vorhergehen, kleine Kohletheilchen abgerissen werden, die, von Elektrode zu Elektrode spielend, die Bildung des Funkenweges erleichtern.

Für die Forderung einer besonderen Sicherheit kann die Wirksamkeit des Kohleblitzableiters noch dadurch erhöht werden, dass man unmittelbar hinter jede Leitungsplatte eine Drahtspirale schaltet. Die Kosten eines Kohleblitzableiters von der bei den sächsischen Staatsbahnen bereits in zahlreichen Exemplaren zur Anwendung gekommenen Form (Fig. 64) betragen bei n Kohlenplatten $2 + n \cdot 2{\cdot}5$ Mark, also für einen Blitzableiter zu sechs Leitungen 17 Mark.

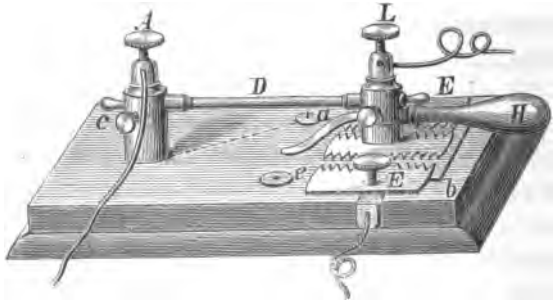
Der Schutz der Apparate kann sowohl bei den Platten- als auch Spitzenableitern dadurch wesentlich erhöht werden, dass man einen **Schmelz-** oder **Schutzdraht** anwendet, d. h. zwischen dem Blitzableiter und den Apparaten einen Draht einschaltet, der seines geringen Leitungsvermögens wegen schon durch einen Strom abgeschmolzen wird, dessen Stärke noch zu gering ist, um den Leitungsdrähten oder Apparaten einen Schaden zuzufügen. Als Material für diese Schmelzdrähte kommen am häufigsten Platin, Neusilber, Kupfer, Eisen und auch Messing zur Anwendung.

Ein sehr einfacher, mit Abschmelzdraht versehener Blitzableiter, welcher bei **französischen Bahnen** Anwendung findet, ist in Fig. 66 abgebildet. Auf der Grundplatte $b\,c$ sind die beiden Klemmschrauben A und L befestigt, die untereinander durch einen dünnen Eisendraht D, eingeschlossen in ein Glasrohr, in leitender Verbindung stehen. Das Glasrohr hat den Zweck, die beim Abbrennen des Eisendrahtes herumsprühenden Funken zurückzuhalten. Unter der Klemme L und mit ihr in metallischer Berührung befindet sich eine auf zwei Seiten sägeartig gestaltete Platte, deren Zähne den Zähnen ähnlich geformter Platten E gegenüberstehen,

in derselben Weise, wie dies bei der Bréguet'schen Blitzplatte der Fall ist. Die beiden seitlichen Platten *E* sind untereinander und mit der Erde verbunden. Die Linienleitung schliesst sich an die Klemme *L*, die Apparatenleitung an die Klemme *A* an.

Der Telegraphirstrom gelangt durch die Leitung zur Klemme *L*, geht durch den dünnen Eisendraht zur Klemme *A* und hierauf zu den Apparaten. Ströme atmosphärischer Elektricität werden von der Klemme *L* aus in der Regel zwischen den Zähnen der Blitzplatte

Fig. 66.



übergehen und direct zur Erde abfliessen. Sollte aber doch ein grösserer Stromantheil in den Eisendraht gelangen, so schmilzt er diesen ab und hebt dadurch die Verbindung der Linienleitung mit den Stationsapparaten sofort auf.

Durch die Handhabe *H* kann eine mit der Klemme *L* verbundene Metallzunge auf die Contacte *e* oder *a* gestellt werden. Die erste Stellung giebt man ihr bei starken Gewittern, um dadurch der etwa durch die Linienleitung *L* anlangenden atmosphärischen Elektricität einen directen Weg zur Erde anzuweisen. Stellt man

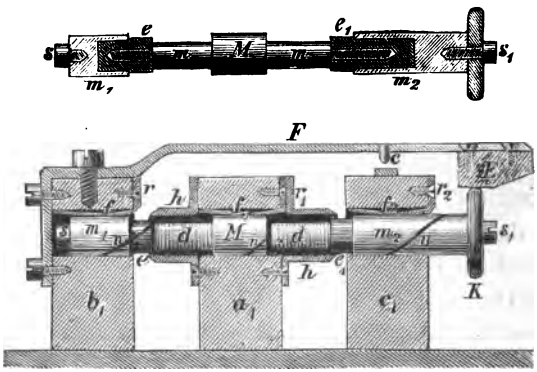
die Zunge auf den Contact *a*, so ist die Linienleitung unter Ausschluss des Eisendrahtes direct mit der Apparatenklemme *A* verbunden, wie dies die gestrichelte Linie andeutet. Diese Verbindung wird hergestellt, wenn ein durch eine Entladung atmosphärischer Elektricität durchgebrannter Eisendraht durch einen neuen ersetzt werden soll, was übrigens bei richtig gewählter Stärke des Eisendrahtes selten vorkommt. Die normale Stellung der Zunge ist die in der Mitte zwischen den beiden Contacten *a* und *e*, wie sie in der Figur dargestellt ist.

Bei den französischen Staatsbahnen ist der Abschmelzdraht mit Seide sorgfältig umsponnen und auf einen mit der Erde in leitender Verbindung stehenden Metallcylinder aufgewunden. Gelangen bei dieser Einrichtung starke Entladungen atmosphärischer Elektricität in den Abschmelzdraht, so dringen diese durch die Seidenumspinnung auf den Metallcylinder und fliessen zur Erde ab.

In ähnlicher Weise ist der Abschmelzdraht bei den **Spindelblitzableitern** angeordnet, welche bei den deutschen Fernsprechstationen in Verwendung stehen. Die Detailconstruction dieses Blitzableiters ist aus Fig. 67 zu ersehen, in welcher die Spindel und die Spindel in ihrer Lage zu den übrigen Theilen des Blitzableiters in Längsschnitten dargestellt sind. Die Spindel besteht aus einem Messingcylinder M_1 welcher zu beiden Seiten bei *m m* etwas abgedreht ist. Das eine Ende derselben ist in das Ebonitstück *e* eingeschraubt, das andere mit dem Ebonitstücke e_1 durch den Messingcylinder m_2 abgeschlossen. Die Spindel besteht sonach aus den drei von einander isolirten Messingcylindern m_1, M und m_2. Die abgedrehten Theile *m m* des mittleren Cylinders

sind, wie an der eingeschobenen Spindel ersichtlich, mit Drahtwindungen versehen; hierzu wird 0·1 Millimeter dicker Kupferdraht verwendet, der mit Seide sorgfältig übersponnen ist. Die Drahtenden der Spulen sind durch die spiralförmigen Nuthen *n* isolirt geführt und verbinden dadurch die beiden Spiralen untereinander und ebenso die beiden Messingcylinder m_1 und m_2, indem sie durch Schrauben $s\,s_1$ an erstere festgeklemmt sind. Die mittleren Theile der Spindel, soweit sie mit

Fig. 67.



Drahtwindungen *d d* umhüllt sind, berühren die innere Wand des hohlen Theiles *h h* des Messingstückes a_1 an keiner Stelle; hingegen wird in den Messingstücken b_1, a_1 und c_1 für gute Contacte zwischen diesen und den Messingcylindern m_1, M und m_2 dadurch gesorgt, dass die durch die Schrauben $r\,r_1\,r_2$ befestigten und rechtwinkelig in die cylindrischen Bohrungen hineingebogenen Federn $f\,f_1\,f_2$ gegen die Spindel drücken. Die Fussplatten von b_1 und a_1 bilden (in der Zeichnung nicht sichtbar) eine Blitzplatte, ähnlich der des vorbeschriebenen Apparates.

Die Betriebsströme gelangen durch b_1 in den Blitzableiter, von hier in den Messingcylinder m_1, gehen dann durch $s\ n\ d\ n\ d\ n\ s_1$ in das Messingstück c_1 und zu den Apparaten. Gelangt aber, z. B. in Folge eines Gewitters, ein hochgespannter Strom durch die Linienleitung nach b_1, so wird der Hauptantheil, statt die dünnen Drähte $d\ d$ zu durchfliessen, zwischen den Zähnen von b_1 und a_1 überspringen und zur Erde abfliessen. Ist der durch $d\ d$ eindringende Zweigstrom trotzdem noch kräftig, so zerstört er den dünnen Draht der Windungen oder doch wenigstens dessen isolirende Seidenumspinnung und stellt dadurch eine metallische Verbindung mit dem zur Erde abgeleiteten Stücke a_1 her, wodurch er ebenfalls, ohne in die Apparate zu gelangen, zur Erde abfliesst.

Ist eine Blitzschutzvorrichtung zerstört worden, so setzt man den Apparat einfach dadurch wieder in Stand, dass man die Spindel aus den Stücken $b_1\ a_1\ c_1$ herauszieht und dafür eine neue (Reserve-) Spindel einführt. Damit nun auch während dieser Manipulation die Linie nicht unterbrochen wird, ist an dem Stücke b_1 durch Schrauben eine starke Messingfeder F befestigt, die bei c mit einem Contactstifte und an ihrem freien Ende mit dem schief abgeschnittenen Ebonitstücke E versehen ist. So lange die Spindel sich an ihrem Platze befindet, stemmt sich die Feder F mit ihrem Ebonitklotze E gegen den Kopf K der Spindel, wodurch der Contactstift bei c ausser Berührung mit dem Metallstücke c_1 gehalten wird. Zieht man aber die Spindel heraus, so drückt die Feder F den Contactstift nieder, weil nun der Kopf K das Ebonitstück E nicht mehr zurückhält, und verbindet dadurch b_1 direct mit c_1.

Wird hierauf die neue Spindel eingeschoben, so wird durch Heben der Feder *F* der Blitzableiter als solcher wieder hergestellt.

Obwohl sich die Abschmelzdrähte als praktisch und zum Schutze der Apparate nothwendig erwiesen haben, leiden sie doch an dem Uebelstande, dass beim Ersetzen eines zerstörten Drahtes durch einen neuen entweder die Apparate oder der Blitzableiter aus der Leitung ausgeschaltet werden müssen. Diesem Uebelstande suchte man dadurch zu begegnen, dass man Vorrichtungen erdachte, welche automatisch nach dem Abbrennen eines Drahtes einen neuen Draht einschalten. Solche Vorrichtungen construirten z. B. Pianta, Picco, Paoli, Turati u. A.

Man befestigt die Abschmelzdrähte an dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels, eine Feder oder anderweitige Spannvorrichtung an dem anderen Ende desselben. Brennt der Draht ab, so schlägt der Hebel um und bewirkt dadurch die Einschaltung eines neuen Drahtes in den Apparat.

Einen sehr einfachen derartigen Apparat construirte auch Ad. Bein[1]) in Görz. Bei demselben lehnt sich ein ziemlich schwerer, etwas schräg stehender Metallhebel gegen einen kurzen, in einer Art Gabel horizontal gespannten Draht und drückt mit seinem eigenen Gewichte gegen den Draht. Schmilzt dieser, so fällt der Hebel auf einen zweiten unterhalb des ersten ausgespannten Draht. Etwa fünf solcher Reservedrähte dürften für den Verlauf eines Gewitters in allen Fällen ausreichend sein.

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, V, p. 87.

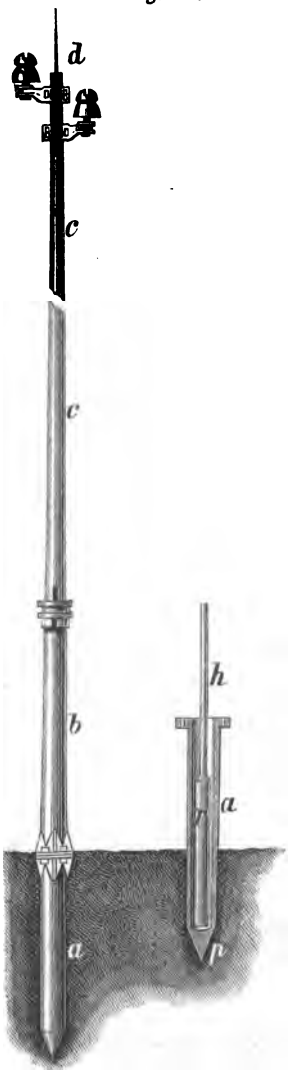
Die bisher beschriebenen Blitzableiter dienen alle nur zum Schutze der Apparate innerhalb der Station, beziehungsweise zum Schutze der Station selbst, insoferne es sich um Entladungen atmosphärischer Elektricität handelt, welche durch die Linienleitungen anlangen. Den Linienleitungen selbst gewähren die beschriebenen Blitzableiter keinen Schutz. Zur Erreichung dieses Zweckes müssen besondere Vorrichtungen, die sogenannten **Linienblitzableiter**, zur Anwendung gelangen. Ein solcher besteht im Wesentlichen in einer metallischen Ableitung, welche den Leitungsdrähten möglichst genähert wird, ohne jedoch die Isolation irgendwo aufzuheben. Man befestigt an den Tragstangen eiserne Stangen, welche oben zugespitzt sind und mit ihrer Spitze den Leitungen nahe stehen; für die Ableitung der Elektricität sorgt man durch eine mit der Eisenspitze verbundene zweckentsprechend angelegte Erdleitung.

Linienblitzableiter sind mindestens an allen jenen Orten anzubringen, welche erfahrungsgemäss den Blitzschlägen besonders ausgesetzt sind. Hierbei wählt man wenn irgend möglich, jene Säulen, bei welchen ständig nasse Erde leicht zu erreichen ist. Die Aufstellung der Linienblitzableiter wird wesentlich vereinfacht, wenn an Stelle der hölzernen eiserne Gestänge zur Anwendung gelangen. Es ist dies beispielsweise bei den brasilianischen Staatstelegraphen der Fall.

Die hier zur Anwendung gelangenden eisernen Pfosten wurden von **Siemens Brothers & Co.** in London angefertigt und sind in Fig. 68 abgebildet.[1])

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, VI, p. 155.

Fig. 68.



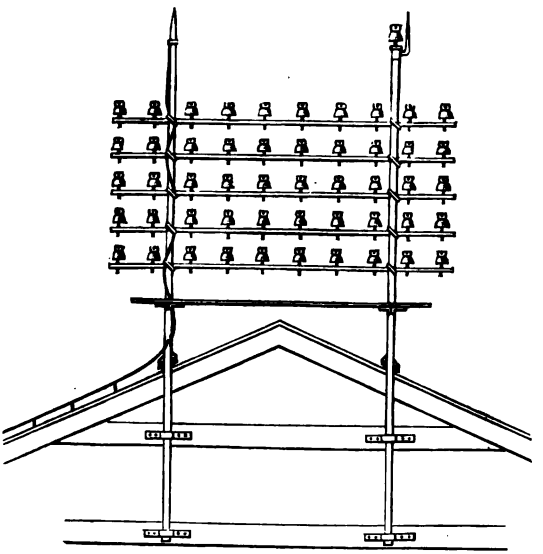
Sie bestehen aus der gusseisernen Fundamentspitze *a*, dem gusseisernen Mittelrohre *b*, dem schmiedeeisernen konischen Oberrohre *c* und der schmiedeeisernen Blitzableiterspitze *d*. Die gusseiserne Fundamentspitze wird, wie in Fig. 68 separat dargestellt ist, mittelst eines eisernen Rammers *r* in den Erdboden eingetrieben, wobei ein oder zwei Arbeiter den Rammer an seinem Handgriffe *h* auf- und abbewegen. Dadurch, dass die Rammschläge auf die innere Fläche der Spitze *p* geführt werden, soll man eine bedeutend grössere Wirkung ausüben, als wenn die Schläge auf die obere Fläche des Rohres ertheilt würden.

Das gusseiserne Mittelrohr *b* wird sodann mit *a* zusammengeschraubt; dasselbe läuft oben ein wenig konisch zu, damit sich das untere Ende des schmiedeeisernen konischen Oberrohres *c* bequem auf *b* aufpassen lässt. Dieses Oberrohr hat an seinem unteren Ende zwei sich gegenüberstehende, kurze Schlitze, über welche ein

Ring geschoben wird, der zusammen mit dem Oberrohre *c* fest auf das Mittelrohr *b* aufgekeilt wird.

In vielen grösseren Städten führt man die gegenwärtig immer zahlreicher werdenden Telephonleitungen auf eisernen Gestängen, die auf den Dächern der Häuser aufgestellt werden. Hierin glaubten nun viele eine Erhöhung der Blitzgefahr für die betreffenden Gebäude

Fig. 69.



gegeben. Das ist aber, wenigstens in der Regel, nicht der Fall. Man mag die Hauptwirksamkeit eines Blitzableiters der durch die Spitzenwirkung erzielten geräuschlosen Entladung oder der sicheren Ableitung des Blitzstrahles zur Erde zuschreiben, die Oberflächenwirkung, die Theilung des Funkens oder das galvanische Leitungsvermögen als Hauptsache betrachten, immer hat man

es mit einem ausgedehnten, weitverzweigten, aus gut leitenden und grossen Metallmassen gebildeten Netze zu thun, welches in vielfacher Verbindung mit noch massigeren Rohrleitungen und der Erde steht. Das ganze System, weit entfernt eine Gefahr zu bilden, stellt vielmehr einen sehr wirksamen, grossen Blitzableiter dar.

Fig. 70.

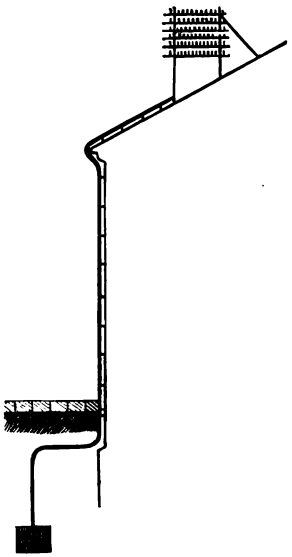
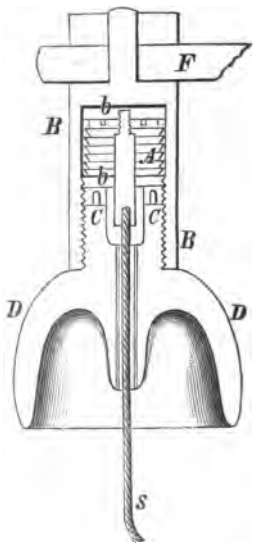


Fig. 71.



Auf Dächern befestigte eiserne Telephongestänge könnten nur in dem Falle eine Blitzgefahr darstellen, wenn sie zum Zwecke ihrer Befestigung tief in das Dach hineinreichen und in der Nähe ihrer unteren Enden grössere oder zusammenhängende Metallmassen sich befinden, welche eine gute Ableitung zur Erde darstellen. Die hierdurch bewirkte Gefahr ist aber

einfach dadurch zu beseitigen, dass man die betreffenden Metallmassen mit dem Gestänge einerseits und der Erde andererseits in leitende Verbindung setzt.

Das **Triester Telephonnetz** ist an besonders exponirten Punkten mit Blitzschutzvorrichtungen versehen, deren Anordnung aus den Figuren 69 und 70 zu ersehen ist.[1]) An diesen Stellen erhielten die Gestänge Ableitungen, welche durch Träger am Gebäude befestigt sind und bis in das Grundwasser reichen. Die Erdleitung besteht aus einem Bleirohrkabel, welches zu der, womöglich 4 Meter vom Gebäude entfernt, in das Grundwasser versenkten Kupferplatte führt. An Stelle der letzteren ist mitunter auch Retortenkohle zur Anwendung gelangt. Hierbei wurde der Gesammtwiderstand der Leitung zwischen den kupfernen Fangspitzen auf den Röhren der Gestänge und der Erde so bemessen, dass er 37 Ω nicht übersteigt. Auf langen Linien mit Säulenleitung wurden auch einzelne Säulen mit Blitzschutzvorrichtungen versehen. Diese bestehen aus nahe an die Leitung reichenden Kupferspitzen, von welchen in die Säulen eingelassene Kupferdrähte (von 2 Millimeter Durchmesser) zur Kupferplatte oder Retortenkohle ins Grundwasser führen.

Einen im Freien aufstellbaren Blitzableiter für Telegraphen- und Telephonleitungen hat auch **F. Süss** in Klausenburg construirt.[2]) Fig. 71 zeigt den Längsdurchschnitt. *A* ist ein aus mehreren mit spitzigen Zähnen versehenen Rädern gebildeter Metallkörper, welcher durch Porzellanringe *b b* in der Metallhülse *B*

---

[1]) Zeitschrift für Elektrotechnik, III., p. 495.

[2]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, III, p. 333.

in den Wagen fortleiten. Bei der elektrischen Bahn Mödling—Hinterbrühl ist der Blitzschutz in sehr einfacher Weise dadurch erreicht, dass man an den betreffenden Stellen die Hauptleiter mit gezahnten Metallplatten versah, so zwar, dass die Zähne gegeneinander gerichtet sind, und zwischen den Zähnen dieser Platten eine dritte, gleichfalls gezahnte Platte anbrachte. Die Zähne der letzteren sind gegen die Zähne der ersteren gerichtet und die Platte selbst steht mit einer entsprechend angelegten Erdleitung in Verbindung.

VI. Prüfung der Blitzableiter.

In den vorhergehenden Abschnitten wurde versucht jene Grundsätze zu erörtern und zu begründen, nach welchen bei Anlage eines Blitzableiters vorgegangen werden muss, wenn letzterer im Stande sein soll, unter allen Umständen sicher und zuverlässlich das zu schützende Object vor Blitzschaden zu bewahren. Es ist hieraus auch zu ersehen, dass die Lösung der mit der Anlage eines Blitzableiters gestellten Aufgabe häufig ein sehr eingehendes Studium der verschiedenartigsten Umstände und Verhältnisse erfordert und dass nur durch eine vollkommen sachgemässe Durchführung einer Anlage der erstrebte Zweck erreicht werden kann.

Wir wissen nunmehr auch, dass eine Blitzableiteranlage immer nur an Ort und Stelle, mit eingehender Berücksichtigung des speciellen zu schützenden Objectes und der speciellen örtlichen Verhältnisse zu entwerfen und auszuführen ist, dass eine für bestimmte Verhält-

nisse vollkommen ihrem Zwecke entsprechende Anlage unbrauchbar oder sogar gefährlich werden kann, wenn jene Verhältnisse, für welche sie geschaffen wurde, andere werden. Dieser Fall kann aber in mannigfacher Weise eintreten, sei es durch bauliche Veränderungen im betreffenden Gebäude selbst oder in dessen nächster Umgebung, sei es z. B. durch Herstellung oder Verschüttung von Brunnen, durch neue Canalisirungen, Entwässerungs- oder Bewässerungsanlagen, Einführung von Gas- oder Wasserleitungen u. s. w. Diese und zahlreiche andere Veränderungen können also eine ursprünglich tadellose Blitzableiteranlage ganz werthlos machen oder doch wenigstens ihre Verlässlichkeit sehr herabsetzen.

Die Blitzableiteranlagen sind aber auch in den meisten Fällen der Einwirkung von Wind und Wetter in vollem Masse ausgesetzt. Es ist daher auch bei dem besten Materiale und bei der sorgfältigsten Arbeit nicht zu verhindern, dass das Materiale mehr oder weniger zerstört, Verbindungen gelockert werden, dass dann überhaupt die Gesammtanlage nicht mehr den an sie gestellten Anforderungen zu entsprechen im Stande ist.

Macht man also selbst die sehr kühne, durchaus ungerechtfertigte Annahme, dass jeder Blitzableiter ursprünglich vollkommen entsprechend hergestellt wurde, so ergiebt sich selbst für diese Fälle die Nothwendigkeit einer von Zeit zu Zeit vorzunehmenden Prüfung, wenn man sicher sein will, dass der auf dem Hause angebrachte Apparat wirklich als Schutzapparat wirken kann. Eisenlohr, C. Kuhn, Holtz, Weber u. A. haben auch wiederholt auf die Nothwendigkeit solcher Untersuchungen hingewiesen und gezeigt, dass selbe

von allgemeinem Interesse sind und dass sie besonders zum Nutzen der Versicherungsgesellschaften wären; es wurde vorgeschlagen, die Blitzableiter ebenso einer behördlichen Controle durch sachverständige Organe zu unterstellen, wie dies gegenwärtig mit Feuerungsanlagen, Dampfkessel etc. der Fall ist. Es muss leider constatirt werden, dass diese wiederholten Anregungen wenig Erfolg gehabt haben und so tritt nur zu häufig der Fall ein, dass Blitzschäden an Objecten zu verzeichnen sind, welche mit „sogenannten" Blitzableitern versehen waren. Solche Fälle, von dem grösseren Theile des Publicums nicht auf die thatsächlichen Ursachen zurückgeführt, hindern überdies noch die Weiterverbreitung der so werthvollen Erfindung Franklin's.

Die Beantwortung der Frage, in welcher Weise derartige Prüfungen der Blitzableiteranlagen stattzufinden hätten, finden wir in den vorhergehenden Abschnitten, in welchen bezüglich des Materiales, der Herstellung und Verbindung der einzelnen Theile untereinander, der Disponirung und Herstellung der Anlage etc. das Nöthige mitgetheilt wurde. Diese Angaben über die Neuherstellung eines Blitzableiters müssen natürlich auch als Basis für die Beurtheilung alter Anlagen gelten. Hieraus ist auch zu ersehen, worauf das Hauptaugenmerk bei den Prüfungen zu lenken ist.

Zur Prüfung auf die metallische Continuität des Blitzableiters von seiner Spitze bis zur Erdplatte und in allen Nebenleitungen wird gegenwärtig auf Vorschlag Wagner's[1]) häufig die Methode mit Hilfe des galvanischen Stromes und eines Galvanometers anempfohlen.

[1]) Poggendorff, Annalen, LXIX, 554.

Schaltet man nämlich in den Stromkreis eines galvanischen Elementes den Blitzableiter ein und giebt ein gleichfalls in diesen Stromkreis geschaltetes Galvanometer einen Ausschlag, sobald der Stromkreis geschlossen wird, so muss der ganze Stromkreis und folglich auch der Blitzableiter metallische Continuität besitzen. Erhält man hierbei keinen Ausschlag, so ist der Stromkreis an irgend einer Stelle unterbrochen. Ob diese Unterbrechung der metallischen Continuität des Blitzableiters aber von einer dünnen Oxydschichte oder von einem Risse von kaum messbarer Grösse herrührt, oder ob die Leitung vielleicht auf mehrere Meter Länge unterbrochen ist, darüber giebt die galvanometrische Methode keinen Aufschluss.

Es ist nach dem Vorhergehenden leicht einzusehen, dass die erstgenannten Ursachen der Unterbrechung zwar allerdings zu beseitigende, aber doch nur unbedeutende Mängel eines Blitzableiters sind, während die letztgenannte Ursache den Blitzableiter nicht nur unbrauchbar sondern sogar zu einem gefährlichen Apparate macht. Andererseits wird das Galvanometer auch dann einen Ausschlag geben, wenn die Leitung sogar an sehr vielen Stellen nahezu abgerissen ist; für den schwachen galvanischen Strom reicht auch der geringe Querschnitt an den betreffenden Stellen aus, wenn nur die metallische Continuität nicht ganz aufgehoben ist. Die galvanometrische Prüfung würde also im letzterwähnten Falle ein günstiges Resultat ergeben, und doch würde der wahre Werth der beiden Blitzableiter gerade ganz umgekehrt zu bemessen sein: Der Blitzableiter mit dem feinen Risse wird unter sonst gleichen Umständen seinen Zweck vollständig erfüllen

(womit natürlich nicht gesagt sein soll, dass dieser Fehler unbehoben bleiben darf), der mit zahlreichen Defecten aber vollkommener metallischer Continuität ist hingegen ganz unbrauchbar und sogar gefährlich.

Die galvanometrische Methode wird auch zur Prüfung der Erdleitung verwendet, indem man durch sie die Grösse des Uebergangswiderstandes von der Platte zur Erde bestimmt. Doch sind auch hier keine zur Beurtheilung der Erdleitung ausreichenden Resultate zu erzielen. Ergiebt sich ein zu grosser Uebergangswiderstand, so kann dieser durch sehr verschiedene Ursachen, welche durch die galvanometrische Untersuchung allein nicht erkannt werden können, bewirkt sein. Solche Ursachen können z. B. sein: eine ungenügende Grösse der Platte, zu wenig tiefe Einsenkung in die Erde, also mangelhafte Berührung mit dem Grundwasser, ein mangelhafter Zustand der die Erdplatte mit der oberirdischen Leitung verbindenden unterirdischen Leitung, mangelhafte Verbindung der letzteren mit der Platte u. s. w.

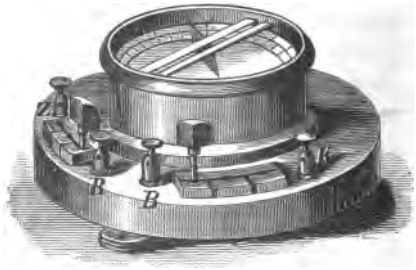
Hieraus ist wohl zur Genüge ersichtlich, dass die galvanometrische Methode allein nicht einmal zur Beurtheilung der Leitungsfähigkeit des Blitzableiters ausreicht, geschweige denn zur Beurtheilung darüber, inwieweit der Blitzableiter in Bezug auf die anderen, wie wir gesehen haben, höchst wichtigen Anforderungen genügt. Man erhält keine Auskunft darüber, ob z. B. die Spitze scharf ist, ob die Leitung richtig dimensionirt, angeordnet und verlegt ist, ob für die Erdleitung die richtige Stelle gewählt wurde, ob allen übrigen localen Verhältnissen des Gebäudes und seiner Umgebung genügend Rechnung getragen wurde u. s. w.

Trotz alledem ist die galvanometrische Methode doch durchaus nicht ganz zu verwerfen, denn zusammengehalten mit anderweitigen Untersuchungen, Beobachtungen, Erkundigungen u. s. w. kann sie ganz gute Dienste leisten und die Beurtheilung einer Anlage wesentlich erleichtern. Vorstehende Bemerkungen über die galvanometrische Methode haben nur den Zweck, vor einer Ueberschätzung ihres Werthes, der man gegenwärtig häufig begegnet, zu warnen.

In welcher Weise die rationelle Prüfung eines Blitzableiters vorzunehmen ist, ergiebt sich, mit Ausnahme in Bezug auf die galvanometrische Methode, wie bereits erwähnt, aus den Angaben über die Herstellung von Blitzableitern in den vorhergehenden Abschnitten, so dass uns also nur mehr erübrigt, der galvanometrischen Methode, beziehungsweise den hierbei benützten Apparaten einige Worte zu widmen. Zur Ausführung dieser Untersuchungen bedarf man einer, wo möglich constanten Elektricitätsquelle (galvanisches Element oder Maschine) eines einfachen Galvanometers, eines Rheostaten und Leitungsdrähte in verschiedenen Längen; hierzu mögen etwa noch Metallplatten kommen, welche zur Herstellung einer Hilfserdleitung Verwendung finden. Da sämmtliche Gegenstände häufig zu transportiren sind, ist bei ihrer Anfertigung und der Zusammenstellung des ganzen Untersuchungsapparates auch darauf Rücksicht zu nehmen. Derartige mehr oder minder zweckmässige Prüfungsapparate wurden von verschiedenen Fabrikanten zusammengestellt, so z. B. von Keiser & Schmidt in Berlin, Gebrüder Siemens, Czeija & Nissl in Wien, W. Fein in Stuttgart u. s. w.

Das von **Kelser & Schmidt**[1]) construirte Galvanometer ist in den Figuren 77 und 78 in perspectivischer Ansicht und schematisch dargestellt. Es besteht aus einer längeren Magnetnadel, welche mittelst Hütchen auf einer Spitze leicht beweglich schwebt und von zwei Stromkreisen umgeben ist; den einen bildet ein Kupferblechstreifen, den anderen ein längerer Kupferdraht. Diese Stromkreise stehen mit einem Vergleichswiderstande U, mit zwei Stöpselumschaltern MRE und GWL und den Klemmschrauben KZB_1 und B_2

Fig. 77.



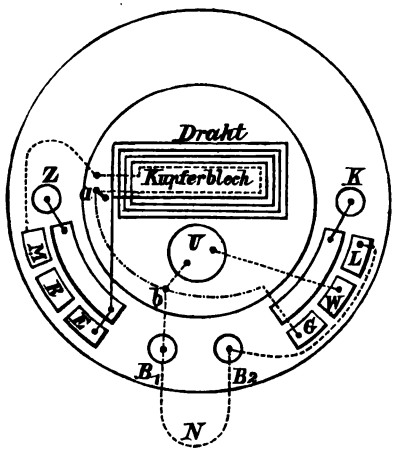
in Verbindung. Der ganze Apparat ist behufs Horizontalstellung mit Stellschrauben versehen.

Der Widerstand der oberirdischen Leitung eines Blitzableiters (von dessen Spitze bis zur Erdoberfläche) soll unter 1 S. E. bleiben. Die Untersuchung, ob diese Anforderung erfüllt ist, wird in folgender Weise ausgeführt. Man befestigt einen Kupferdraht von hinreichender Länge einerseits an einer blanken Stelle der Fangspitze, andererseits in der Klemme B_1 des Galvanometers; ein zweiter Draht wird an jener Stelle, an

[1]) Dingler, Polytechnisches Journal, Bd. 218, p. 29.

welcher die Blitzleitung in die Erde eintritt, mit dieser Leitung metallisch verbunden und in der Klemme B_2 befestigt. Die Poldrähte der Stromquelle, z. B. eines galvanischen Elementes mit geringem Widerstande, verbindet man mit den Klemmschrauben K und Z. Stöpselt man hierauf die Metallstücke L und M der Umschalter, so ist folgender Stromkreis geschlossen: Vom Zinkpole

Fig. 78.



des Elementes aus über Z, M, die Kupferblechwindung nach a, b, B_1, durch die Blitzableiterleitung N nach B_2, L K und zum Kupferpole des Elementes zurück. Ist an keiner Stelle der Blitzableiterleitung die metallische Continuität unterbrochen, so schlägt die Galvanometernadel unter einem gewissen Winkel aus, den man zu notiren hat.

Hierauf entfernt man den Stöpsel aus L und setzt ihn dafür bei W ein; der Stöpsel in M bleibt an seiner

Stelle. Jetzt nimmt der Strom folgenden Weg: Von *Z* über *M*, das Kupferblech *a* und *b* durch den Vergleichswiderstand *U* nach *W* und von hier über *K* zur Stromquelle zurück. Zeigt nun die Magnetnadel denselben Ausschlag, wie früher, so ist der Leitungswiderstand der Blitzableiterleitung gleich 1 S. E., zeigt sie einen geringeren Ausschlag, so ist er grösser, und zeigt sie einen grösseren Ausschlag, so ist er kleiner als 1 S. E.

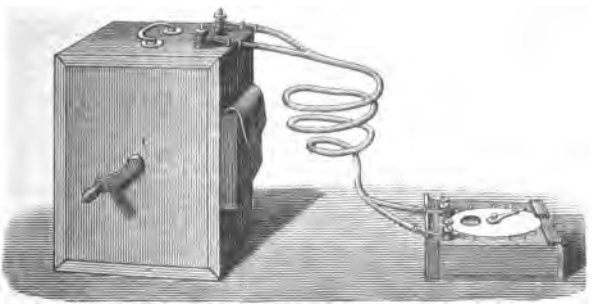
Zur Prüfung des Uebergangswiderstandes in der Erdleitung setzt man an Stelle jener Leitung, welche früher die Blitzableiterspitze mit dem Galvanometer verband, nunmehr eine Hilfserdleitung, indem man eine Metallplatte in einen Fluss oder Brunnen versenkt oder einen Erdbohrer bis in das Grundwasser eintreibt und dann diesen oder die Platte durch einen Kupferdraht mit der Klemme B_1 verbindet. Mit B_2 wird die vorher angegebene Verbindung belassen. Stöpselt man hierauf *E* und *L*, so nimmt der Strom folgenden Lauf: von der Klemme *Z* über *E* durch die Drahtwindungen nach *a*, *b* und B_1, von hier in die Hilfserdleitung *N*, durch die Erde zur Erdplatte des Blitzableiters und dessen Erdleitung nach *L* und zur Polklemme *K*. Zeigt hierbei die Magnetnadel des Galvanometers von Keiser & Schmidt einen Ausschlag von 20 bis 30 Grad, so soll die Erdleitung des Blitzableiters (nach vielfachen praktischen Erfahrungen) entsprechend sein; ein geringerer Ausschlag zeigt eine schlechte Erdleitung an und gar kein Ausschlag den Mangel einer solchen.

Controlversuche zur Bestimmung der Stromstärke des Elementes, beziehungsweise des magnetischen Zustandes der Nadel sind dadurch ermöglicht, dass man bei Entfernung der zum Blitzableiter führenden Leitungen

G stöpselt und gleichzeitig *M* oder *E*. In beiden Fällen ist dann das Galvanometer kurz geschlossen, und zwar bei der Stöpselung in *E* mit Einschaltung der Drahtwindungen und bei Stöpselung von *M* mit Einschaltung des Kupferbleches.

Der Untersuchungsapparat der **Gebrüder Siemens & Cie.** ist in Fig. 79 abgebildet, während die schematische Zeichnung, Fig. 80, dessen Schaltung und Verwendungsweise erläutern soll.[1]) Der Apparat besteht aus einer kleinen magnetelektrischen Maschine *M*, welche

Fig. 79.



sammt einer Wheatstone'schen Brücke *B* in einem Kasten eingeschlossen ist. Der zur Brücke gehörige getheilte Widerstand ist in Form eines kreisförmig gekrümmten Neusilberdrahtes angebracht, auf welchem der Contact durch den drehbaren Arm *P* hergestellt wird, der auch als Stromwender dient. Zwischen den Klemmen *c* und *f* befindet sich ein kleines horizontales Galvanometer, dessen Nadel durch einen Messingarm innerhalb oder ausserhalb des magnetischen Feldes ge-

[1]) La lumière électrique, XVII, p. 34.

Sitzung im November 1884 genehmigte.[1]) Diese Regeln lauten:

I. Wenn eine elektrische Entladung zwischen einer Wolke und der Erde statthat, wird diese Entladung, welche sich gewöhnlich in der Form des Blitzes zeigt, den Weg einschlagen, welcher den geringsten Widerstand darbietet. Auf diese der Beobachtung entnommene Thatsache hat man sich bei der Erklärung der Nützlichkeit der Blitzableiter zu stützen.

II. Ein Blitzableiter wird gebildet aus einer oder mehreren Metallstangen, die das zu schützende Gebäude überragen und untereinander und mit der Erde durch ein System von metallenen Leitern verbunden sind. Wenn der Blitzableiter gut construirt ist, so bietet er dem Durchgange der Entladung einen geringeren Widerstand, als dies jeder andere Theil des Gebäudes thut.

III. Man unterscheidet an einem Blitzableiter folgende drei Theile:

1. Das System der Stangen (Auffangestangen), die das Gebäude überragen;
2. Das System der Leitungen, welche bis in den Erdboden führen, und
3. die Verbindungen dieser Leitungen mit dem Boden.

IV. Die Auffangstange des Blitzableiters ist von Eisen, die Höhe derselben hängt sowohl von der Art und Form des zu schützenden Gebäudes ab, als von der Zahl der Stangen, welche man errichten will. Man kann annehmen, dass ein gewöhnliches Gebäude, bei welchem die Länge der Dachfirst 15 Meter nicht über-

---

[1]) Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin, VI, p. 112; auch La lumière électrique, T. XV, p. 429.

schreitet, durch eine an der Mitte angebrachte Stange von 5 Meter geschützt werden kann. Im Falle, wo die Länge der Dachfirst 15 Meter überschreitet, muss man zwei oder mehrere Stangen in einer Entfernung von einander, die nicht das Vierfache ihrer Höhe übersteigt, anbringen; die zwei zunächst den äussersten Enden des Gebäudes stehenden Stangen sollen indessen jederzeit sich nicht in einer grösseren Entfernung von diesen Enden befinden, als das Anderthalbfache ihrer Höhe beträgt. Im Allgemeinen ist es, wenn dem architektonische Bedingungen nicht widersprechen, vortheilhafter, die Zahl der Stangen zu vermehren, als die Höhe derselben zu vergrössern. Es ist wichtig, die Zahl der Stangen zu vergrössern bei denjenigen Gebäuden, welche in ihrem Innern grosse Metallmassen enthalten.

V. Die Auffangstange muss sehr sorgfältig auf dem Sparrwerke befestigt werden. Um das Eindringen des Regenwassers zu vermeiden, welches am Fusse der Stange in das Gebälk einsickert und dasselbe verfaulen lässt, bringt man an dem Fusse einen Metallkegel, in Form eines umgedrehten Trichters an, welcher sorgfältig an die Stange angelöthet ist.

VI. Am oberen Ende der Stange befindet sich eine verzinkte Eisenspitze oder man schraubt auch wohl auf ihr Ende eine vergoldete oder vernickelte Kupferspitze auf. Diese Spitze muss dick sein, kegel- oder pyramidenförmig; der Winkel der Spitze darf nicht zu spitz sein. Wenn man auf der Stange eine Spitze aus einem anderen Metall befestigt, so muss das Ende der Stange mit einem Schraubengewinde versehen sein, welches in die innere Höhlung des Kegels bis auf deren

Grund hineintritt. Man kann auch die Eisenstange selbst zuspitzen lassen und 30 Centimeter von ihrem äussersten Ende 3 bis 5 Eisenspitzen von ungefähr 20 Centimeter Länge annieten lassen, welche von der mittleren Stange aus auslaufen; die so gebildete sternförmige Spitze wird sehr stark verzinkt.

VII. Der Leiter stellt eine zusammenhängende metallische Verbindung her zwischen dem Fusse der Stange und dem Erdboden. Der beste Leiter ist das Kupfer; man verwendet für eine einzige Stange zwei Kupferdrähte von 5 Millimeter Durchmesser oder man kann auch zwei Eisendrähte von 8 Millimeter Durchmesser benützen. Diese Leiter gehen, nachdem sie über zwei verschiedene Theile des Gebäudes hingeführt worden sind, nach der Erde herab. Wenn man nur einen Leiter verwenden will, so muss man einen Kupferdraht von ungefähr 8 Millimeter Durchmesser oder einen Eisendraht von 12 Millimeter Durchmesser nehmen, wenn es sich um Rundeisen handelt, oder 1 Quadratcentimeter Querschnitt, wenn es sich um kantiges Stabeisen handelt. Bei den eben genannten Zahlen ist vorausgesetzt, dass das Kupfer der Leiter ein Leitungsvermögen von 70 Procent desjenigen des reinen Kupfers hat. Wenn man einen Leiter aus zusammengenieteten Eisenstangen herstellt, so müssen die Nietstellen alle verlöthet sein; die Anwendung von Bleiplatten zwischen den vernieteten Theilen ist schlecht und macht in keinem Falle das Verlöthen entbehrlich. Welches System auch angewendet werde, stets muss man bedenken, dass es von der grössten Wichtigkeit ist, dass der metallische Leiter zusammenhängend sei. Die Anwendung von Metallseilen aus Kupfer- oder Eisendraht ist

nur nützlich, wenn man sich nicht genietete und gelöthete massive Leiter verschaffen kann; in diesem Falle müsste das Seil aus einem einzigen Stücke bestehen. Messingseile dürfen nicht verwendet werden.

VIII. Der Leiter muss sorgfältig mit der Stange verbunden werden; man kann ihn zwischen zwei Schraubenmuttern fest an sie anlegen. Die Verbindungsstelle muss verlöthet werden; in keinem Falle darf man ein Seil an der Stange eines Blitzableiters mittelst einer einfachen Schleife befestigen.

IX. Wenn sich mehrere Stangen auf dem Gebäude befinden, so werden sie untereinander mittelst eines längs der First hinlaufenden Leiters verbunden, woran diejenigen Leiter befestigt werden, welche zur Erde hinabführen. Die Zahl der letzteren muss mit der Zahl der Spitzen wachsen; man kann folgendes Verhältniss annehmen: Für zwei bis sechs Stangen braucht man drei solcher Leiter, wie sie in VII. vorgeschrieben sind, für sechs bis neun Stangen vier Leiter und von dieser Zahl ab fügt man je einen Leiter für drei Stangen hinzu. Alle Metalltheile der Oberfläche des Gebäudes werden mit den nach der Erde herabgehenden Leitern verbunden; es ist ferner zu vermeiden, diese herabführenden Leitungen sehr nahe an Fenstern und Balkonen vorbeizuführen. Im Falle, dass sich grosse Metallmassen im Innern des Gebäudes befinden, verbindet man dieselben an ihren beiden äussersten Enden mit den zur Erde führenden Leitern. In der Nähe des Erdbodens wird der Leiter durch eine Eisenröhre oder Holzverschalung gegen jede Beschädigung geschützt; dieser Schutz hat sich bis auf 2 Meter über dem Boden zu erstrecken. Der Leiter wird am Dach und an den

Mauern mit Eisenklammern befestigt; es ist wichtig, denselben bei der Legung nicht stark zu dehnen.

X. Der Contact des Leitungsnetzes mit dem Boden ist einer der wichtigsten Theile der Anlage eines Blitzableiters. Wenn sich in der Nähe des Gebäudes eine wichtige und ganz metallische Leitung für Wasser oder Gas befindet, so legt man den Leiter des Blitzableiters an diese Leitung. Zu diesem Zwecke muss der Leiter, nachdem das Metall blossgelegt worden ist, mehreremale um das Rohr gewickelt und auf eine grosse Erstreckung verlöthet werden. Dann wird die Löthstelle mit Firniss oder Theer überstrichen.

Wenn keine Gas- oder Wasserleitung da ist, kann man den Leiter in den unteren Theil einer metallenen Pumpe führen, wenn eine solche in der Nähe vorhanden ist, unter der Bedingung, dass das Steigrohr der Pumpe in einer Grube steht, welche nicht cementirt ist. Bei Abwesenheit jeder an steter Verbindung mit dem nassen Boden oder dem Wasser stehende Metalloberfläche stellt man für jeden Leiter eine Erdplatte her. Diese Platte soll eine möglichst grosse, in Contact mit dem nassen Boden oder dem Wasser stehenden Metalloberfläche darbieten. Man kann eine gute Erdplatte herstellen mittelst einer Platte von 1 Quadratmeter Oberfläche aus verzinktem Eisenbleche, wenn der Leiter aus Eisen ist, oder aus Kupfer, wenn der Leiter aus Kupfer ist; diese Platte ist wenigstens zwei Meter von dem Gebäude entfernt in die Erde einzugraben, und zwar an der am gleichmässigsten feucht bleibenden Stelle, welche man auffinden kann. Anstatt einer Eisenblechplatte kann man auch ein Wasserleitungsrohr, das 1 Quadratmeter Oberfläche besitzt, anwenden; die Ausschussrohre sind

zu diesem Zwecke gut zu verwenden. Der Leiter muss an mehreren Stellen mit der Platte verlöthet werden. Ein über dem Punkte, wo die Platte liegt, angebrachtes Merkzeichen dient dazu, dieselbe leicht wiederzufinden. Wenn der Blitzableiter fertiggestellt ist, so wird es zu prüfen sein, ob er in allen seinen Theilen gut ausgeführt ist. Man muss ferner auch alle drei Jahre wenigstens untersuchen, ob er sich gut erhalten hat. Wenn der Blitzableiter vom Blitze getroffen wird, muss man sofort nachsehen, ob er dabei nicht etwa beschädigt worden ist.

Namenregister.

Arago, Spitzenwirkung 68, Schutzraum 95.
Aristoteles, Natur des Blitzes 4.

Baumgartner, atmosph. Elektricität auf Telegraphenleitung. 196
Beccaria, athmosph. Elektricität 21, Blitzschutz für Pulvermagazine 178, Spitzenwirkung 68.
Bein, Spitze 84, Telegraph.-Blitzableiter 218.
Berghausen, Fangstange 89, Spitze 78.
Billwiller, Regeln für Blitzableiteranlagen 243.
Bréguet, Spitzenblitzableiter 205.
Buchner, Schutzraum 95.

Callaud, Erdleitung 116, Fangstange 92, Verbindung v. Drahtseilen 145.
Cavallo Tib., atmosphär. Elektricität 21.
Charles, Schutzraum 95.
Collinson, Brief Franklin's an, 8.

Dalibard, Wetterstange 9.
Delor, Wetterstange 9.
Descartes, Natur des Blitzes 4.
Divisch Prokop, Biographie 11, Blitzableiter 7, Spitzenwirkung 72.
Dufour, Regeln für die Anlage von Blitzableitern 243.

Franklin Benj., Blitzableiter 7, 19, 21, elektrischer Drache 9, Erdleitung 109, Höhe der Fangstange 94, Schutz der Pulvermagazine 177.
Friess Jul., Prokop Divisch 10, 17.

Gay-Lussac, Blitzableiter 23, Fangstange 126.
Gebrüder Siemens & Cie., Apparat zur Prüfung der Blitzableiter 241.
Guillemin, Blitzleitung 56, 62.

Har, Anschluss von Blitzableitern an Rohrleitungen 161.
Harris Snow, Blitzableiter auf Schiffen 23, 188, 190.
Hemmer, Erdleitung 110, Spitzenwirkung 71.
Hempel, Nickelspitze 82.

Henley, mehrfache Spitzen 85.
Hess, Blitzschutz 80.
Holtz W., Anschluss von Blitzableitern an Rohrleitungen 164, Erdleitung 114, Fangstange 123, Schutzraum 96.

Imhof, mehrfache Spitzen 85.

Juvenal, über den Blitz 3.

Karsten, Erdleitung 116, Höhe und Zahl der Fangstangen 97, Leitungsquerschnitt 103, Spitzenwirkung 70.
Keiser & Schmidt, Galvanometer 238.
Kerckhof, Blitzableiter 207.
Kernaul, Verbindung von Drahtseilen 144.
Klasen, Fangstange 140, Löthlampe 148.
Kohlfürst, Blitzsteg 202.
Kuhn Carl, Blitzschutz für Pulvermagazine 179, Erdleitung 113, Fangstänge 128, Leitung 130, 134, Spitze 79.

Landriani, Schutzraum 95.
Larroque, Schutzraum 98.
Le Monnier, atmosphär. Elektricität 19.
Lindner, Spitze 82.

Mach, Vertheilung der Elektricität, 26, 32.
Melsens, Anschluss von Blitzableiter an Rohrleitungen 164, Blitzableiter 67, Blitzschutz eines Monumentes 174, für Leuchtthürme 183, mehrfache Spitzen 85, Schutzraum 98, Theilung des Funkens 26, 56.
Moncel Th. du, Blitzleitung 56, 60.

Nairne Eward, Blitzableiter 23.
Neesen, Leitungsmaterial 101.
Nollet, Blitzleitung 57.
Nottebohm, Spitzenblitzableiter 201.

Perrot, elektrischer Funke 64.
Plinius, Elmsfeuer 2.
Plutarch, über den Blitz 2.
Pouillet, Blitzableiter 23.
Preece, Blitzleitung 56, 60, Schutzraum 97.

Reimarus, Blitzableiter 21, Blitz 23.
Richmann, atmosphär. Elektricität 20.
Romas de, atmosphärische Elektricität 19, Blitzleitung 56.

Saussure, Blitzableiter 21.
Siemens Brothers & Cie., Linienblitzableiter 219.
Siemens & Halske, Blitzplatte 200.
Steinheil, Blitzgefahr für Telegraphenleitungen 193, Blitzplatten 197.
Süss, Linienblitzableiter 223.

Theophrastus, über den Blitz 3.

Thomson Elihu, Blitzableiter f. Leitungen von Maschinenströmen 230.
Thomson, Blitzschutz für Pulvermagazine 179.
Töpler, Versuchsblitzableiter 49.
Ulbricht, Erdleitung 118, Kohleblitzableiter 209.
Uppenborn, Blitzableiter 230, Regeln für die Anlage von Blitzableitern 161.
Wagner, Prüfg. d. Blitzableiter 234.
Wall, Natur des Blitzes 6.
Watson, Blitzableiter 21.
Weber, Regeln für die Anlage von Blitzableitern 243.
Wilson, Blitzableiter 22.
Winkler, Blitzableiter 10, Wesen des Blitzes 6.
Zacharias, Löthlampe 148.
Zenger, Ovoidspitze 86, symmetrische Stromleitung 26, symmetrischer Blitzableiter 28.
Zwarg, Fangspitze 141.

Sachregister.

Ableitungen, Zahl und Anordnung der 152.

Anlage von Blitzschutzvorrichtungen 149.

Anordnung der Fangstangen 151, der Leitungen 152.

Anschlüsse an die Blitzableiter 156, 160.

Aufgabe und Wirkungsweise des Blitzableiters 66.

Aufstellung der Fangstange 123.

Befestigung und Führung der Leitung 129.

Bestandtheile d. Blitzableit. 75.

Blitz, elektrischer Funke und 24.

Blitzableiter, Anschlüsse von Rohrleitungen 55, auf dem Salomonischen Tempel 4, Aufgabe und Wirkungsweise 66, Bestandtheile 75, für die Stromleitung elektrischer Bahnen 231, für Leitungen von Maschinenströmen 228, für Telegraphen- und Telephonleitungen 193, für unterirdische Leitungen 225, Geschichte der 1, Kosten 175, Leitung 55, Prüfung 232, Regeln für die Anlage von 243, Spitze 76, symmetrischer 27, von Divisch 11.

Blitzableiteranlage auf grösseren Bauten 172, auf Fabrikschornsteinen 183, auf Kirchen 180, auf Leuchtthürmen 183, auf Pulvermagazinen 176, auf Schiffen 188, auf Windmühlen 186; Einfluss der Baumaterialien auf die 155, Einfluss der Form der Bedachung auf die 153, Einfluss der Grösse des Gebäudes auf die 150, Einfluss der Lage des Gebäudes auf die 168.

Blitzgefahr durch Telephongestänge 221.

Blitzplatten 197.

Blitzsteg 202.

Elektricität, Sitz der 24, Vertheilung der 36.

Elektrischer Drache 9.

Elektrischer Funke und Blitz 25.

Elmsfeuer, Plinius' Ansicht über das 2.

Entladungsstrom 47, Leitung des 55.

Erdleitung 109, der französ. Commission 112, nach Callaud 116, nach Hemmer 110, nach Holtz 114, nach Kuhn 113, nach Ulbricht 118.

Fangstange 86, Aufstellung der 123, Form der 87, Höhe der 94, nach Callaud 92, Berghausen 89, Verbindung mit der Leitung 136, Zahl und Anordnung 151.
Form der Fangstange 87, der Leitung 107.

Gas- u. Wasserleitungen, Anschluss an Blitzableiter 55, 160.

Höhe der Fangstange 94.

Inductionsstrom 49.
Influenzerscheinungen 43.
Isolirung der Leitung 132.

Kabel, Blitzschutz 226.
Kohleblitzableiter 209.
Kosten der Blitzableiter 175.

Leitung, Befestigung und Führung der 129, Form der 107, Isolirung der 132, Material der 99, oberirdische 98, Querschnitt der 102, Verbindungen 136, 141, des Entladungsstromes 55.
Linienblitzableiter 219, im Triester Telephonnetz 223, von Siemens Brothers & Cie. 219, von Süss 223.
Löthfeuer 147.

Mehrfache Spitzen 85.
Meteorologische Maschine 13.

Prüfung der Blitzableiter 232.

Querschnitt der Leitung 102.

Regeln für die Anlage von Blitzableitern 161, 243.
Rückschlag 48.

Saugwirkung der Spitzen 46.
Schmelzdraht 213.
Schutzdraht 213.
Schutzkreis (Schutzraum) 94.
Sitz der Elektricität 24.
Spindelblitzableiter 215.
Spitzen 76, der französischen Commission 77, 81, der Generalinspection des Ingenieurcorps (Berlin) 81, Saugwirkung der 46, nach Ad. Bein 84, nach Hempel 82, nach Lindner 82, von Berghausen 78, von Kuhn 79.
Spitzenblitzableiter 201.
Spitzenwirkung 42, 68.

Triester Telephonnetz, Linienblitzableiter 223.

Verbindung der Fangstange mit der Leitung 136, der Leitungsstücke untereinander 141.
Versuche von Guillemin 56, 62, Hess 30, Mach 26, 32, Melsens 26, 57, Th. du Moncel 56, 60, Nollet 56, Preece 56, 60, de Romas 56, Töpler 49, Zenger 26.
Vertheilung der Elektricität 36.

Zahl der Fangstangen 151, der Leitungen 152.